

**Universidade Nova de Lisboa**

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A  
ADOPTAR EM ZONAS ECONOMICAMENTE DESFAVORECIDAS**

Joana Margarida Carvalho Gomes

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária

Orientador: Professora Doutora Maria Gabriela Lourenço da Silva Féria de Almeida

Lisboa

2011



Ao meu avô



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível graças à colaboração e apoio de diversas pessoas às quais quero prestar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar à Professora Doutora Maria Gabriela Lourenço da Silva Féria de Almeida, minha Orientadora de dissertação de Mestrado, pela oportunidade de realizar este trabalho, pelo empenho, rigor e, paciência que sempre demonstrou e com que me apoiou ao longo de todo o trabalho, acreditando neste projecto desde o início e, por todos os conhecimentos que transmitiu.

Aos meus pais, por todo o amor, carinho e confiança em mim, sem eles nada disto seria possível. A toda a minha família por todo o apoio que sempre me têm dado.

Aos meus colegas e amigos, que estiveram sempre ao meu lado, em todos os momentos, tanto de alegria como de nervosismo, e até mesmo nos momentos de mau-humor, tendo sempre uma palavra de apoio ou simplesmente contribuindo para momentos de distração e diversão. Um agradecimento muito especial à Rita, Cláudia, Filipa, Andreia, Fábio, Sofia e Martinha que sempre me apoiaram, em todos os momentos, bons e maus, ajudando a ultrapassar os maus e a tornar ainda mais especial os bons e, um obrigada por todas sugestões, ideias e conhecimentos que contribuíram para a realização deste trabalho final.



## RESUMO

Tendo em consideração a realidade actual, em relação ao tema de abastecimento de água em zonas carenciadas, nomeadamente no Continente Africano, torna-se importante e urgente o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água com características adequadas às condições locais, tanto a nível de qualidade de água, como a nível económico.

O trabalho apresentado, pretende, com base em investigação bibliográfica, contribuir para o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água, de carácter rudimentar, de fácil implementação, que garantam a produção de uma água com qualidade aceitável em termos de saúde pública.

Para prossecução do objectivo deste trabalho, o cenário adoptado como representativo de uma zona desfavorável, foi Moçambique, país que revela grande falta de pontos de água potável. Após análise de qualidade de água dos rios de Moçambique e adoptando a qualidade de água inferior como critério de selecção, seleccionou-se o Rio Matola, localizado na região de Moamba, um dos distritos de Maputo.

Uma análise da qualidade de água do Rio Matola, integrada com uma análise de linhas de sistema de tratamento utilizadas no tratamento de águas para consumo humano, revelou que os sistemas de tratamento adequados terão que ser bastante simples, contemplando as etapas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção. A opção da linha do sistema de tratamento de água terá que passar por uma linha simples, visto o cenário adoptado ser uma zona carenciada, o que implica uma escassez, tanto a nível económico, como também a nível de mão-de-obra especializada para a manutenção dos sistemas.

O principal problema observado na qualidade da água foi o elevado teor em cloretos, que ultrapassam o limite imposto pela legislação, de 250 mg/L. Uma das hipóteses de tratamento proposta é a utilização do processo de separação por membranas de osmose inversa. Apesar da presença de cloretos não ser prejudicial à saúde, a utilização deste processo permite eliminar o sabor desagradável provocado pela presença dos iões e, permite também a obtenção de uma água tratada que cumpra os limites legislados. No entanto, a sua utilização deste processo implica um elevado custo de implementação e também de manutenção.





## ABSTRACT

Considering water supply reality now days in needed areas, such as the African continent, it becomes not only important but also urgent to develop water treatment systems according to its conditions like water quality or economic level.

The work presented intents, based on a bibliographic investigation, to improve the water supply system, basic and easy to implement, that guarantee an acceptable quality of water to the public health.

The intent of this work, Mozambique is the chosen as a scenario, an unfavorable area that shows lack of potable water sources. After analyzing the rivers water quality and adopting the inferior water quality as criteria, the Matola River was selected, placed on the Moamba region, one of Maputo districts.

An analysis to the water quality of the Matola River, along with one to the treatment system lines used to treat water to human consumption showed that the water treatment systems would have to be very simple containing coagulation, flocculation, decantation and disinfection stages. The option of the water system line would have to be a simple line, since the chosen a poor area and there are not much specialized workers to do the system's maintenance.

The main problem shown in the water quality was high chloride content that overdue the limit imposed by law of 250 mg/L. Considering that, one of the choices of treatment is using the reverse osmosis process. Although the presence of the chloride will not prejudice health, this process allows eliminating the bad taste caused by ions presence and it also allows the treated water to be within the law limits. However the utilization of this process has high cost of implementation and maintenance.



## ABREVIATURAS

AID – *Agency for International Development* (Agência de Desenvolvimento Interno dos Estados Unidos da América)

Ara-Sul – Administração Regional de Águas do Sul

CBO<sub>5</sub> – Carência bioquímica de oxigénio a 5 dias

COT – Carbono orgânico total

CQO – Carência química de oxigénio

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

ETA – Estação de tratamento de água

G- Gradiente de velocidade, s<sup>-1</sup>

GLASS – *Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking-water*

IDH- Índice de desenvolvimento humano

JMP – *Joint Monitoring Programme for Water supply and Sanitation*

MDG - *Millenium Development Goals*

MED- *Multiple effect distillation*

NOM – *Natural organic matter* (Matéria orgânica natural)

MSF- Multistage flash distillation

OD – Oxigénio dissolvido

OFDA – *Office of Foreign Disaster Assistance* (Departamento de Assistência de Desastres no Exterior)

OMS - Organização Mundial de Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PIB- Produto interno bruto

SODIS – *Solar water disinfection* (Desinfecção solar da água)

SST- Sólidos suspensos totais

THM - Trihalometanos

UNDP - *United Nations Development Programme*

UNESCO – *United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization*

UNICEF - *United Nations Children's Fund*

UV – *Ultraviolet radiation* (Radiação ultravioleta)

### Símbolos

$\mu$  - Viscosidade dinâmica da água, N.s/m<sup>2</sup>

$\gamma$  – Peso específico da água



## ÍNDICE DE MATÉRIAS

|  |      |
|--|------|
| Agradecimentos.....  | III  |
| Resumo .....   | V    |
| Abstract .....   | VII  |
| Abreviaturas.....  | IX   |
| Índice de Matérias.....  | XI   |
| Índice de Figuras.....   | XIII |
| Índice de Tabelas .....  | XV   |
| 1 Introdução .....   | 1    |
| 2 Objectivo.....   | 3    |
| 3 Metodologia .....  | 5    |
| 4 Enquadramento Teórico.....   | 7    |
| 4.1 Países em Vias de Desenvolvimento .....                                  | 7    |
| 4.2 Escassez e Usos da água .....  | 7    |
| 4.2.1 Moçambique .....   | 12   |
| 4.3 Iniciativas mundiais no âmbito da problemática da escassez de água ..... | 18   |
| 4.4 Problemas associados à escassez de água potável .....                    | 20   |
| 5 Selecção do local em Moçambique.....                                       | 23   |
| 5.1 Caracterização do Local em Estudo .....                                  | 27   |
| 6 Selecção dos parâmetros de qualidade da água.....                          | 29   |
| 6.1 Parâmetros Organolépticos e físicos .....                                | 29   |
| 6.1.1 Cor .....  | 29   |
| 6.1.2 Turvação .....   | 30   |
| 6.1.3 Sabor e Cheiro .....   | 30   |
| 6.1.4 Temperatura.....   | 31   |
| 6.1.5 pH .....   | 31   |
| 6.1.6 Condutividade .....  | 32   |
| 6.1.7 Sólidos Suspensos Totais .....   | 33   |
| 6.2 Parâmetros Químicos .....  | 33   |
| 6.2.1 Dureza Total .....   | 33   |
| 6.2.2 Cloretos .....   | 34   |
| 6.2.3 Fósforo.....   | 34   |
| 6.2.4 Sulfatos.....  | 35   |
| 6.2.5 Nitratos.....  | 35   |
| 6.2.6 Nitritos.....  | 36   |
| 6.2.7 Azoto Amoniacal e Kjeldahl .....                                       | 36   |

|   |     |
|---|-----|
| 6.2.8 Ferro e Manganês .....  | 37  |
| 6.2.9 Pesticidas .....  | 38  |
| 6.2.10 Oxidabilidade.....   | 38  |
| 6.2.11 Matéria orgânica .....   | 38  |
| 6.3 Parâmetros Microbiológicos .....  | 39  |
| 7 Sistemas de tratamento de água.....   | 41  |
| 7.1 Operações e Processos Unitários.....  | 41  |
| 7.1.1 Pré – oxidação.....   | 41  |
| 7.1.2 Coagulação.....   | 42  |
| 7.1.3 Floculação .....  | 46  |
| 7.1.4 Decantação .....  | 48  |
| 7.1.5 Filtração .....   | 50  |
| 7.1.6 Desinfecção.....  | 57  |
| 7.1.7 Dessalinização.....   | 61  |
| 7.2 Sistema de tratamento de águas passíveis de implementação .....               | 64  |
| 7.2.1 Reagentes .....   | 70  |
| 7.2.2 Lamas .....   | 73  |
| 7.3 Sistemas de tratamento móveis .....   | 74  |
| 8 Dimensionamento dos sistemas de tratamento em diferentes cenários e Discussão . | 77  |
| 9 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros .....                             | 95  |
| 10 Referências Bibliográficas .....   | 97  |
| Anexos.....   | 101 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.1-Mapa de ranking mundial de desenvolvimento (IDH) .....   | 7  |
| Figura 4.2- Cobertura de abastecimento de água em África .....  | 9  |
| Figura 4.3-Distribuição regional de 884 milhões de pessoas em 2008 sem fontes de água potável, população (milhões)..... | 10 |
| Figura 4.4- Progressos para as metas do MDG, relativos à água potável.....  | 11 |
| Figura 4.5- Mapa-Mundo representativo da percentagem de população com acesso a água potável                             | 12 |
| Figura 4.6- Mapa de Moçambique com delimitação das províncias. ....   | 12 |
| Figura 4.7- Carta de Moçambique.....  | 14 |
| Figura 4.8- Imagem de Satélite do Canal de Moçambique .....   | 17 |
| Figura 5.1- Carta Hidrológica das bacias administradas pela ARA-SUL.....  | 23 |
| Figura 5.2- Mapa de localização de Moamba .....   | 28 |
| Figura 7.1- Características dos processos de separação por membranas .....  | 62 |
| Figura 7.2-Sistemas de tratamento de água convencionais .....   | 65 |
| Figura 7.3-Partes constituintes da <i>Moringa oleifera</i> (semente, folha, flor e fruto) .....                         | 71 |
| Figura 7.4- Exemplos de sistemas móveis para tratamento de água .....   | 75 |
| Figura 8.1-Representação do sistema de tratamento com equipamentos mecânicos .....                                      | 82 |
| Figura 8.2- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a mistura rápida para os três cenários.....      | 82 |
| Figura 8.3- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a mistura lenta para os três cenários .....      | 83 |
| Figura 8.4- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a decantação para os três cenários .....         | 83 |
| Figura 8.5- Relação entre a área e os períodos de funcionamento para a filtração para os três cenários .....            | 84 |
| Figura 8.6-Representação de sistema de tratamento com equipamentos hidráulicos .....                                    | 85 |
| Figura 8.7-Esquema explicativo do funcionamento do processo de separação por membranas de osmose inversa.....           | 88 |
| Figura 8.8- Área das membranas de osmose inversa para os três cenários e diferentes períodos de funcionamento.....      | 90 |
| Figura 8.9-Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 100 habitantes .....                                 | 90 |
| Figura 8.10- Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 150 habitantes .....                               | 91 |
| Figura 8.11-Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 200 habitantes .....                                | 91 |





## ÍNDICE DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 4.1- Regimes de escassez de água .....  | 8   |
| Tabela 5.1- Parâmetros químicos de qualidade da água para consumo humano.....  | 24  |
| Tabela 5.2-Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para consumo humano.....  | 24  |
| Tabela 5.3-Pârametros físicos e organolépticos de qualidade da água de consumo humano.....   | 25  |
| Tabela 5.4-Parâmetros, escala e local de medição para avaliação da qualidade da água .....   | 26  |
| Tabela 5.5- Valores de qualidade do Rio Matola .....   | 26  |
| Tabela 7.1-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da coagulação.....   | 45  |
| Tabela 7.2-Doses típicas de coagulantes .....  | 46  |
| Tabela 7.3-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da floculação .....  | 47  |
| Tabela 7.4-Diferentes tipos de decantação .....  | 48  |
| Tabela 7.5-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da decantação convencional.....  | 50  |
| Tabela 7.6-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração rápida .....  | 54  |
| Tabela 7.7- Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração Lenta.....   | 56  |
| Tabela 7.8- Vantagens e desvantagens dos principais desinfectantes químicos.....   | 59  |
| Tabela 7.9-Parâmetros analisados e processos e operações unitários correspondentes .....   | 66  |
| Tabela 7.10- Sistemas de tratamento passíveis de utilização.....   | 67  |
| Tabela 7.11- Doses óptimas de coagulante de sementes de <i>Moringa oleifera</i> .....  | 72  |
| Tabela 8.1- Dimensionamento mecânico dos órgãos para o sistema de tratamento de água (dimensões úteis) para os três cenários.....  | 79  |
| Tabela 8.2-Dimensionamento hidráulico dos órgãos para mistura rápida e lenta (dimensões úteis) para os três cenários .....   | 86  |
| Tabela 8.3-Dimensionamento para membranas de osmose inversa.....   | 88  |
| Tabela A.1- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos (NO <sub>3</sub> ), nitritos (NO <sub>2</sub> ), amoníaco e turvação da Bacia Umbeluzi ..... | 101 |
| Tabela A.2- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos (NO <sub>3</sub> ), nitritos (NO <sub>2</sub> ), amoníaco e turvação da Bacia de Maputo..... | 101 |
| Tabela A.3- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos (NO <sub>3</sub> ), nitritos (NO <sub>2</sub> ), amoníaco e turvação do rio Matola .....     | 102 |

Tabela A.4- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco e turvação do Rio Infulene..... 102

Tabela A.5- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco e turvação da Bacia do Rio Incomati... 103

Tabela A.6- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), alcalinidade (Alc.), dureza total (DT), cloretos, nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco, fósforo total (FT) e turvação Bacia do Rio Limpopo ..... 104

Tabela A.7- Valores de parâmetros de qualidade de temperatura (T), pH, condutividade (S), dureza total (DT), cloretos, nitratos ( $\text{NO}_3$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), amoníaco e turvação do Rio Inhambane..... 104

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial à vida. Contudo, e apesar de ser um recurso natural renovável e cobrir grande parte do globo, em muitas partes do mundo, não está ao alcance de todos, nem em quantidade nem em qualidade. Em pleno século XXI ainda há a necessidade de certas comunidades terem de percorrer longas distâncias para terem acesso a água e, nem sempre essa mesma água disponível se encontra com qualidade de ser consumida directamente.

O acesso à água potável e em quantidade suficiente é um dos direitos do homem. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) cada pessoa necessita de entre 20-50 litros de água/dia para os usos básicos, como consumo, higiene e alimentação (Unesco- World Water Assesement Programme, 2009).

No entanto, cerca de 1/6 da população mundial, ou seja, cerca de 884 milhões, não têm acesso a água potável. Prevendo-se que com o aumento da população em 80 milhões de pessoas/ano, a procura de água aumenta em cerca de 64 biliões m<sup>3</sup>/ano, em 2050 cerca de 90% da população dos países em desenvolvimento não tenha acesso a água potável nem a saneamento básico (WHO, UNICEF , 2010).

Embora o planeta esteja coberto por água, mais de 97% desta é salgada e, dos 3% de água doce, 2% estão confinados em neve e gelo, perfazendo apenas 1% para as necessidades do homem. Além da pequena quantidade disponível de água doce, esta encontra-se distribuída de forma não uniforme, prevendo-se que até 2025, 1 800 milhões de pessoas irão viver em zonas de escassez completa de água. A escassez é mais notória em zonas rurais que em zonas urbanas, tal como entre países em desenvolvimento que em desenvolvidos (Kingsolver, 2010).

A água é essencial ao corpo humano, é o principal constituinte das células humanas, estando presente tanto em processos fisiológicos e bioquímicos, e é também essencial em diversas actividades realizadas pelo homem. A sua inexistência pode levar a inúmeras consequências nefastas. A falta de higiene inerente à escassez de água é um dos problemas com maior dimensão, tal como a ocorrência de algumas doenças e o seu agravamento, como é o exemplo da diarreia, sendo a água necessária para a sua prevenção e tratamento. Outro dos problemas da escassez de água, principalmente nas crianças, é a desidratação, sendo estas e mulheres, na maioria das comunidades, que colectam a água, tendo por vezes que percorrer longas distâncias à procura deste bem (Hesperian Foundation - UNDP, 2005).

Contudo, o problema existente a nível mundial não se restringe apenas à escassez de água e à sua necessidade pela parte do ser humano, mas também a nível de qualidade. Apesar de existirem locais

com acesso a água, esta nem sempre apresenta qualidade suficiente para ser consumida, provocando depois diversos problemas de saúde. Com o crescimento populacional mundial, os usos de água foram-se alterando, a agricultura e indústria são dois sectores que contribuem para a acentuada degradação da água, através de pesticidas e agentes químicos, por exemplo. A contaminação das águas naturais, que posteriormente serão colectadas, é um dos principais problemas de qualidade de água, além da contaminação bacteriológica devido à falta de saneamento básico em muitas zonas rurais.

O problema contudo, não reside apenas na fonte de água mas também nos sistemas de tratamento, que nos países em desenvolvimento são escassos ou de baixa eficiência ou mesmo inexistentes. A implementação de um sistema de tratamento de água, tanto para consumo ou para água residual, acarreta custos económicos elevados, que muitos países não têm condições económicas para os implementar.

Os sistemas passíveis de adoptar são variados, tanto no que diz respeito à concepção de linha de tratamento como às tecnologias existentes. A escolha da linha de tratamento está sujeita à entidade responsável pelo tratamento da água, sendo escolhida atendendo diversos factores, como as características do local, da água bruta, da aglomeração populacional a servir, das necessidades locais e das características económicas locais.

## 2 OBJECTIVO

Este trabalho tem com objectivo relevar o estudo da importância de sistemas de tratamento de água de modo a permitir e garantir um desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento.

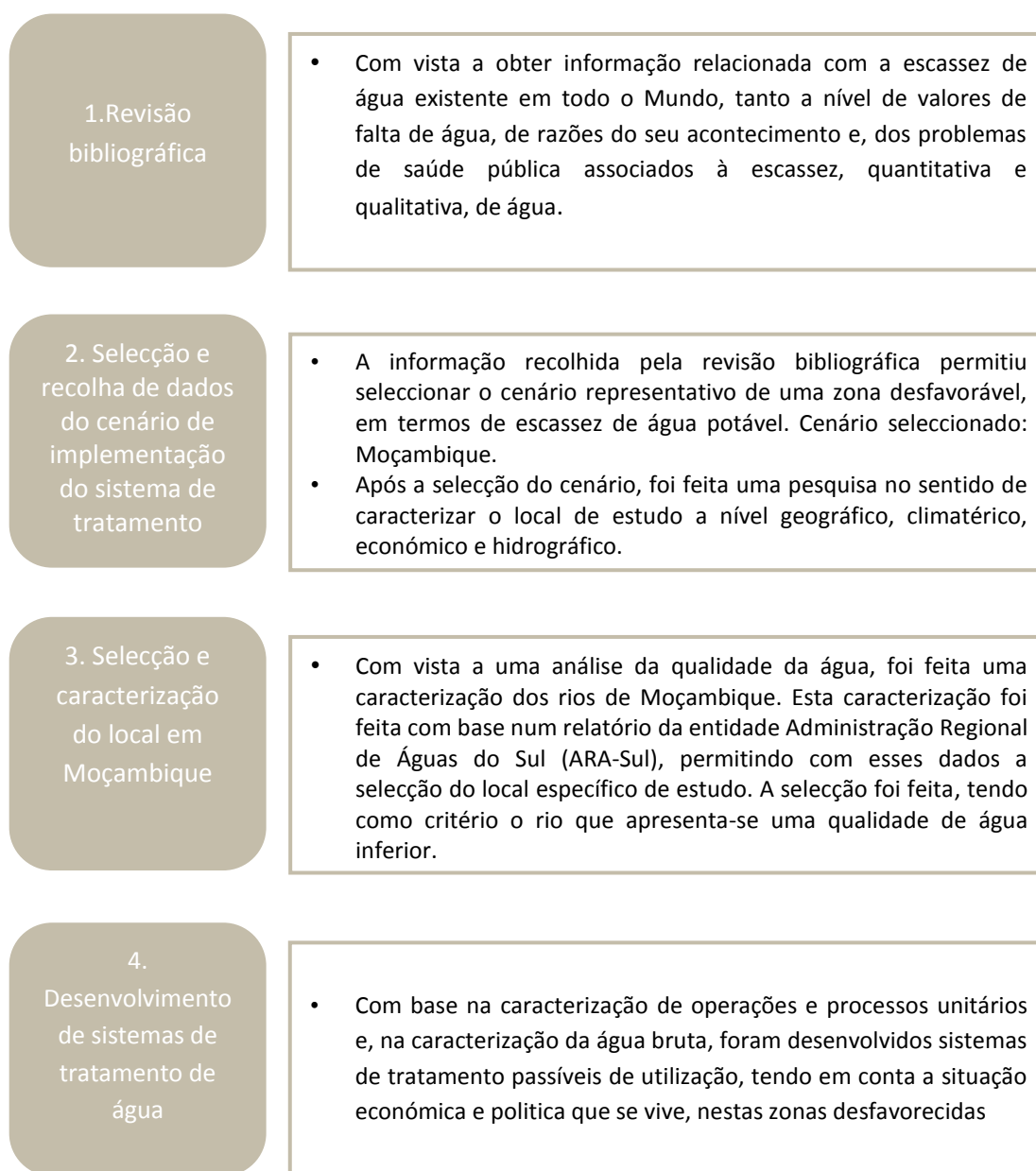
Pretendendo-se com este estudo:

- Contribuir para o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água que potenciem o acesso das populações de zonas carenciadas, em pequenos aglomerados populacionais, a uma água com qualidade aceitável, para uso doméstico, ou seja, para beber, cozinhar alimentos e higiene;
- Contribuir para a inovação de sistemas de tratamento de água com viabilidade técnica e económica.



### 3 METODOLOGIA

Como referido, o presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de sistemas de abastecimento de água, em zonas carenciadas, de modo a permitir a que as populações tenham acesso a água com qualidade aceitável para uso doméstico. De forma a identificar os problemas e as soluções existentes, para posteriormente desenvolver sistemas possíveis de implementação, foram realizados uma sequência de passos, que são explicados seguidamente:







## 4 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 4.1 PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Em 1990 a ONU criou um organismo denominado por Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP – *United Nation Development Programme*) tendo a seu cargo a avaliação do desenvolvimento humano mundial, publicando relatórios anuais. Na sequência destes relatórios, para uma melhor avaliação, a UNDP criou o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Este índice combina três dimensões do desenvolvimento, a taxa de esperança média de vida, taxa de alfabetização e o produto interno bruto (PIB) de cada país. A correlação das três dimensões dá origem a um índice com intervalo de grandeza de 0-1, correspondendo o zero (0) ao mínimo e um (1) ao máximo de desenvolvimento humano de um país, permitindo obter um ranking de desenvolvimento humano entre os países mundiais.

Como resultado, apresenta-se na Figura 4.1, o mapa-mundo com a classificação de desenvolvimento de cada país.

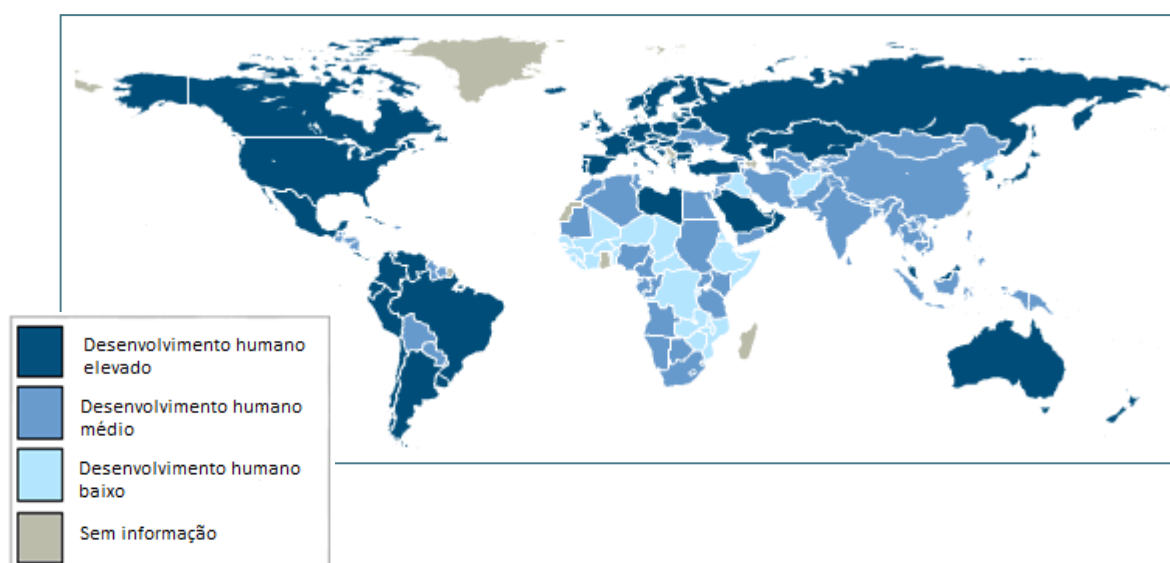


FIGURA 4.1-Mapa de ranking mundial de desenvolvimento (IDH) (Fonte: Adaptado de UNDP, [www.undp.pt](http://www.undp.pt))

De acordo com a Figura 4.1, verifica-se que o Continente com menor IDH é o Continente Africano.

### 4.2 ESCASSEZ E USOS DA ÁGUA

A escassez de água pode ser provocada por causas antrópicas, ou seja, provocadas pelo homem, pelo mau uso e abuso excessivo dos recursos naturais, ou por causas naturais.

Pereira, 2002, definiu quatro tipos de escassez, tendo em conta o tempo e a causa da escassez, que se resumem na Tabela 4.1.

TABELA 4.1- Regimes de escassez de água (Adaptado de Pereira, et al., 2002)

| Escassez          | Natural  | Antrópica   |
|-------------------|--|---|
| <b>Permanente</b> | <b>Aridez</b><br>Precipitação média anual baixa a muito baixa; grande variabilidade espacial e temporal da precipitação.                                   | <b>Desertificação</b><br>Desequilíbrio da disponibilidade de água devida a sobre-exploração das águas subterrâneas, combinado com a degradação do solo, erosão da terra; cheias rápidas mais frequentes; perda dos ecossistemas rípicolas.                        |
| <b>Temporária</b> | <b>Seca</b><br>Precipitação persistentemente abaixo da média, ocorrendo com frequência, duração e severidade aleatórias, de previsão difícil ou impossível | <b>Penúria de água</b><br>Desequilíbrio na disponibilidade de água, incluindo sobre-exploração de aquíferos, reduzida capacidade dos reservatórios, uso da terra inadequado, degradação da qualidade da água e redução da capacidade de suporte dos ecossistemas. |

Apesar de a água ser um recurso natural encontrado em grande abundância à superfície terrestre, o seu uso abusivo pode provocar a sua escassez, que afecta principalmente os países em desenvolvimento, levando muitas vezes as populações a pagarem preços exagerados, aos revendedores.

A escassez de água, por causas antrópicas, é muitas vezes díspar no mesmo país, isto é, a escassez ou o acesso a água entre áreas rurais e urbanas é muitas vezes diferente para cada caso. As zonas rurais, e principalmente nos países em desenvolvimento ou de transição, apresentam grandes diferenças no que se refere à quantidade e qualidade de água, comparativamente às zonas urbanas.

No caso de áreas urbanas e de grande densidade populacional é normalmente aplicado o princípio de “economia de escalas” que, geralmente é favorável para soluções centrais de disponibilidade, distribuição e tratamento da água. Contudo, este princípio, falha nos designados países em desenvolvimento ou de transição, devido a factores políticos ou socioeconómicos (Peter-Varbanetsa, et al., 2009).

Devido aos custos de tratamentos centralizados, nas zonas rurais dos países em desenvolvimento serem demasiado elevados, leva a que a população use água retirada directamente da fonte, de rios,

lagos, águas subterrâneas ou chuva sem qualquer tipo de tratamento. O problema de uso destas águas, é que estas, geralmente, não estão protegidas e estão poluídas, muitas vezes devido à falta de saneamento básico (Gadgil, 1998). O problema não reside apenas na qualidade da água, mas também na sua quantidade, que é muitas vezes limitada em zonas áridas.

Como as comunidades rurais estão, por norma, situadas longe das comunidades centrais, a gestão e fiscalização do abastecimento de água com infra-estruturas e serviços é reduzida (Peter-Varbanetsa, et al., 2009).

O problema de falta de abastecimento de água, e também de saneamento, é bastante problemático em África. Cerca de dois terços da população vive em áreas rurais, que como referido, são áreas muito pobres em serviços de abastecimento e tratamento de água, esta realidade pode ser comprovada pela Figura 4.2 que mostra a disparidade entre as áreas urbanas e rurais relativamente ao abastecimento de água (Economic Commission for Africa, 2006).

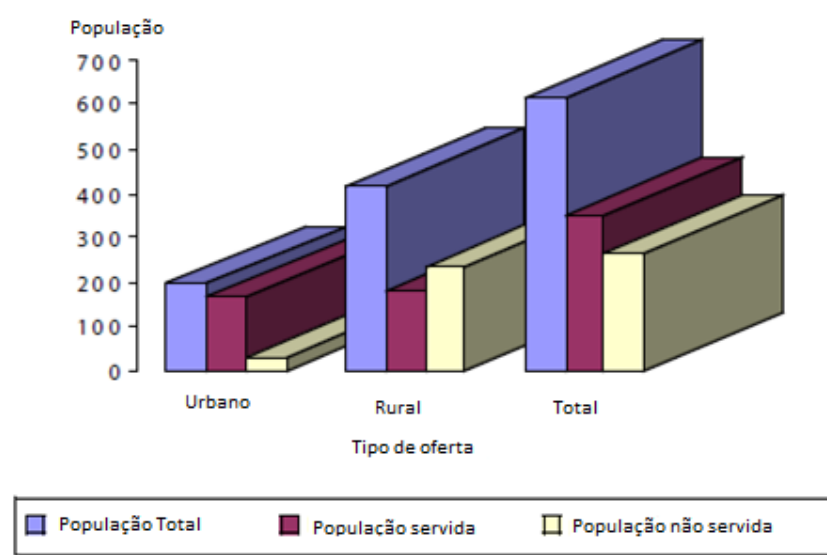


FIGURA 4.2- Cobertura de abastecimento de água em África (Fonte: Economic Commission for Africa, 2006)

Segundo Tal, 2006, o indicador de Falkenmark, reconhecido mundialmente, estipula que quando a disponibilidade de água por pessoa e por ano é inferior a  $1000 \text{ m}^3$ , significa que o país ou região sofre de escassez de água.

O conceito de escassez é referido em duas vertentes, ou como sendo a falta quantitativa de água, ou como sendo a falta de água com qualidade para consumo humano. Assim, estas duas abordagens diferentes da mesma palavra, leva a que a problemática da água seja muito mais abrangente,

englobando não só os países ou regiões áridas e semi-áridas, mas também países e regiões húmidas, que não disponibilizem às suas comunidades água de qualidade aceitável para o seu consumo.

Apesar de todos os progressos feitos, por diversos organismos, em melhorar o acesso a água potável, que atinge 87% da população mundial e 84% da população de países em desenvolvimento, 884 milhões de pessoas em todo o mundo ainda não têm acesso a esse mesmo bem, como mostra a Figura 4.3. A África Sub-sariana é responsável por mais de um terço deste número, como mostra a Figura 4.4, estando atrasada quanto aos objectivos do desenvolvimento do milénio – *Millenium development goal's* (MDG), explicados no capítulo 4.3, com apenas 60% da população com acesso a água potável, tendo tido apenas um aumento de 11% desde 1990 (WHO, UNICEF , 2010).

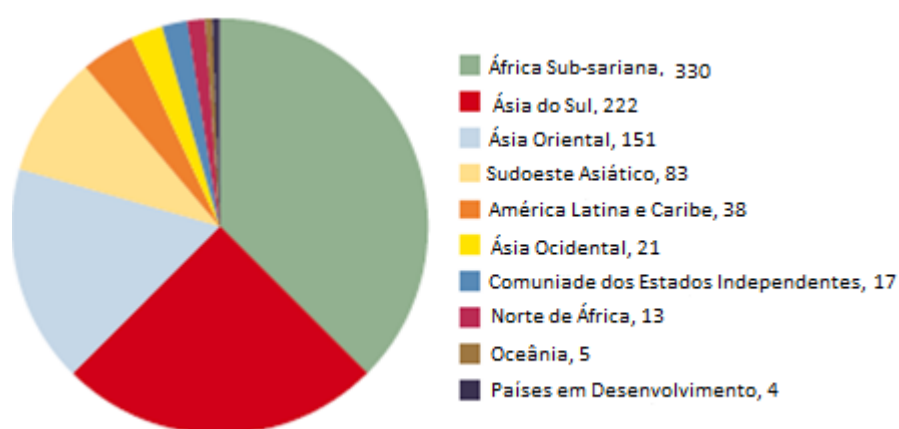


FIGURA 4.3-Distribuição regional de 884 milhões de pessoas em 2008 sem fontes de água potável, população (milhões) (Fonte: WHO, UNICEF , 2010)

Como já referido, a abordagem de escassez física da água é também um conceito muito marcante na literatura. Este conceito está muitas vezes inerente ao conceito de crescimento populacional. Com o crescimento populacional, o consumo de água é também crescente, tendo uma evolução duas vezes maior que o crescimento populacional, no ultimo século (United Nations, 2008) .

Apesar da escassez de água não ser global, cerca de 2,8 biliões de pessoas, mais de 40% da população mundial, vivem em bacias de rio com alguma escassez de água e, mais de 1,2 biliões dessas pessoas vivem mesmo em condições de escassez física de água, devido a serem retirados 75% do fluxo desses rios (United Nations, 2008).

Outro 1,6 bilião de pessoas vive em áreas de escassez económica de água, onde o capital humano, financeiro e institucional limita o acesso à água, embora esta esteja disponível na natureza para satisfazer as necessidades de procura.

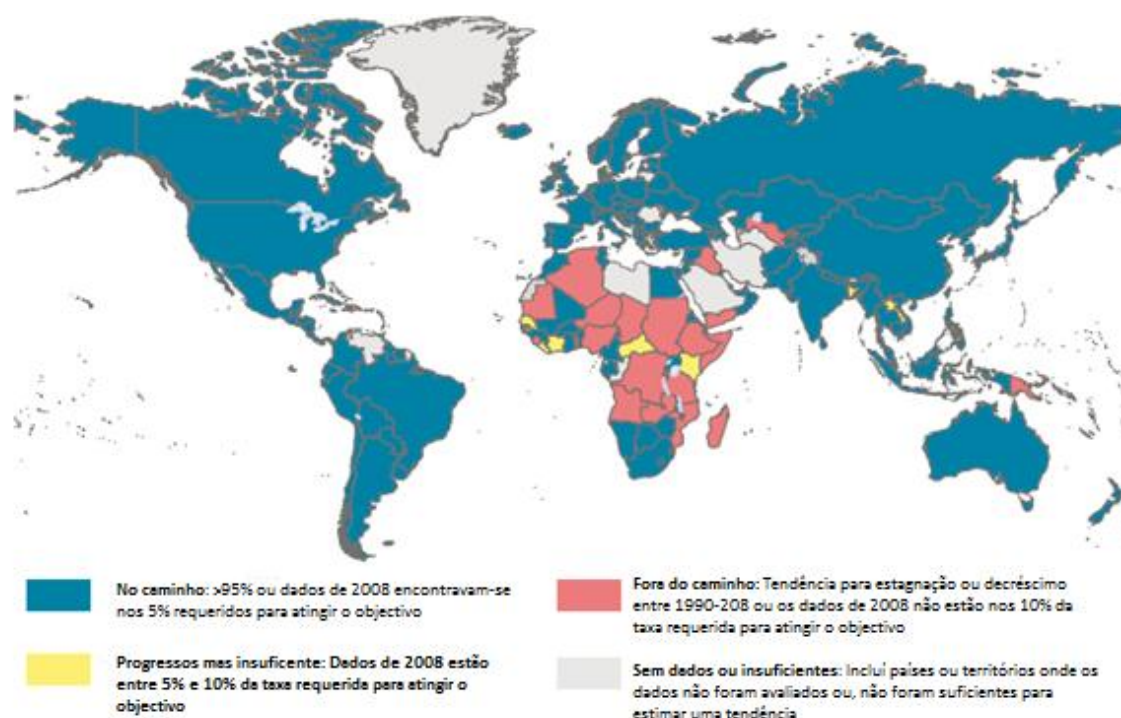


FIGURA 4.4- Progressos para as metas do MDG, relativos à água potável (Fonte: WHO, UNICEF , 2010)

Os problemas referidos incluem a falta de infra-estruturas de abastecimento de água, de alta vulnerabilidade às secas, a curto e longo prazo e, ainda o acesso a fontes seguras de água potável. Estas situações ocorrem na sua maioria na parte sul da Ásia e da África Sub-Sariana (United Nations, 2008).

O Continente Africano é um dos continentes mais atingido pela escassez de acesso a água potável, onde na maioria dos países, menos de 70% da população tem acesso a água potável, como demonstra a Figura 4.5.

Considerando estes dados e, tendo em conta os objectivos propostos neste trabalho, optou-se por estudar a hipótese de implementação do sistema de tratamento de água no Continente Africano, mais propriamente em Moçambique, que é um dos países da África Sub-Sariana com menor percentagem de população com acesso a água potável, apenas cerca de 42% da população tem acesso à mesma (Républica de Moçambique - Página Oficial).

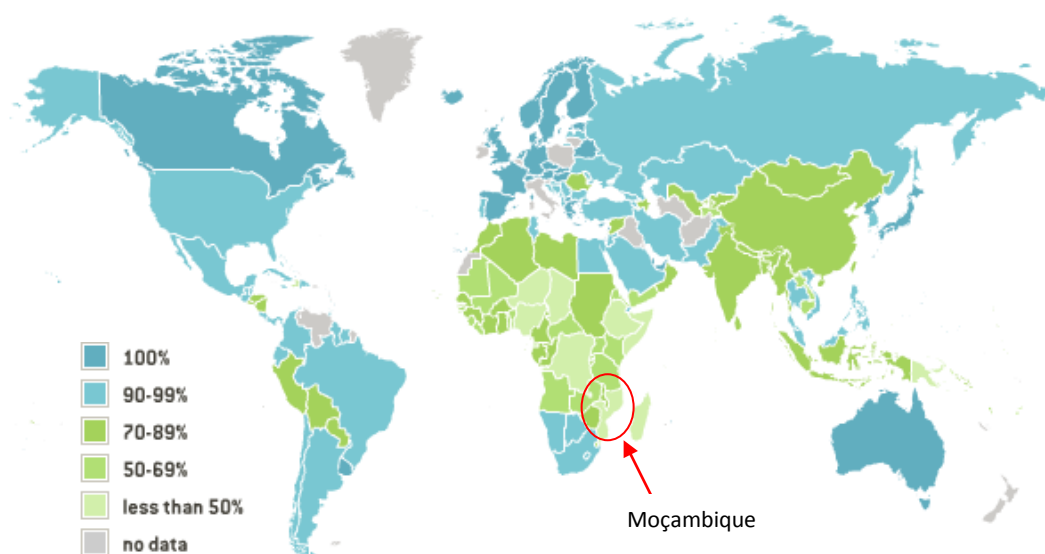


FIGURA 4.5- Mapa-Mundo representativo da percentagem de população com acesso a água potável (Adaptado do Banco Mundial, 2007. Disponível em <http://devdata.worldbank.org/atlas-mdg/>)

#### 4.2.1 Moçambique

Encontra-se localizado na costa oriental da África Austral, fazendo fronteira a Norte com a Tanzânia, a Oeste com o Malawi, Zâmbia, Zimbabwe e Suazilândia e a Sul com a África do Sul. Ocupa uma área de 799 380 Km<sup>2</sup>, com uma extensão de costa de 2 770 Km e uma população de 20,3 milhões de habitantes, divide por 10 províncias, Cabo Delgado, Niassa, Nampula, Tete, Zambízia, Manica, Sofala, Inhambane, Gaza e Maputo, que é a actual capital do País (Figura 4.6) (INE, 2007 e República de Moçambique, 2007).

O País caracteriza-se por ter um clima predominantemente tropical húmido, com uma precipitação anual de padrão sazonal, que dependendo igualmente da posição geográfica. A estação chuvosa ocorre entre os meses de Outubro e Março, que corresponde ao período estival, apresentando uma precipitação média anual de cerca de 980 mm.



FIGURA 4.6- Mapa de Moçambique com delimitação das províncias. (Fonte: República de Moçambique - Página Oficial)

As temperaturas médias variam entre as regiões Norte e Sul. A Sul a temperatura média é relativamente mais baixa que a Norte, rondando os 23°C e, a Norte as temperaturas médias variam entre 25 a 26°C (Républica de Moçambique, 2007).

Relativamente à humidade esta é um pouco elevada nas regiões costeiras, diminuindo para o interior do país. Nas zonas costeiras a humidade relativa é cerca de 71%, e nas zonas interiores apresenta valores abaixo dos 64% de humidade (Républica de Moçambique, 2007).

Possui alguns recursos naturais como gás, carvão, minerais, madeiras, área agrícola e florestal (24,5%) (Worl Bank, 2009 e República de Moçambique - Página Oficial).

A agricultura e a pesca são as duas actividades económicas mais importantes. A agricultura apresenta uma empregabilidade de 80% do país e, constitui uma importante fonte de exportação de vários produtos, como a castanha, algodão, açúcar, chá e madeira. Relativamente à pesca, a exportação de camarão representa quase metade das exportações do país.

Além da agricultura e pesca, Moçambique tem também algumas indústrias importantes, nomeadamente a têxtil, a alimentar, a do papel, vidro e do plástico. As actividades industriais centram-se maioritariamente (76%) em Maputo/Matola (Républica de Moçambique, 2007).

Apesar de ter como recursos naturais o carvão, o gás natural e minerais, as indústrias destes sectores ainda não estão bem desenvolvidas (Républica de Moçambique, 2007).

É um dos países mundiais com menor percentagem populacional com acesso a água potável, 42% e com um baixo produto interno bruto (PIB), de US\$ 77,9 biliões e, um crescimento anual de 7,3% (Républica de Moçambique - Página Oficial e Worl Bank, 2009).

Relativamente aos recursos hídricos, Moçambique é constituído por treze bacias hidrográficas, as bacias dos rios Maputo, Umbeluzi, Incomati, Limpolo, Save, Buzi, Pungoé, Zambeze, Licungo, Ligonha, Lúrio, Messalo e Revuma. A Figura 4.7 mostra todo o território moçambicano e os rios que o atravessam (Républica de Moçambique, 2007).

A maioria destes recursos hídricos ocorre fora das fronteiras nacionais, excepto a zona norte, em que a maioria dos rios tem nascente no país.

O rio Lúrio é a maior bacia totalmente moçambicana, com uma área de 60 800 km<sup>2</sup>, que nasce a mais de 1 000 m de altitude, no Monte Malema, e com cerca de 1 000 km de comprimento, representando, também com os seus diversos afluentes, a linha mestra da subdivisão do Planalto Moçambicano (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).





FIGURA 4.7- Carta de Moçambique (Fonte: Libraries, 2005. Disponível em: [http://www.lib.utexas.edu/maps/africa/mozambique\\_pol95.jpg](http://www.lib.utexas.edu/maps/africa/mozambique_pol95.jpg))



O rio Rovuma nasce na Tanzânia e atinge Moçambique em confluência com o rio Messinge, tomando depois a direcção Oeste-Leste numa extensão de mais de 600 km de comprimento até ao Oceano Índico, onde desagua. A sua bacia representa em Moçambique, uma área de 101 160 km<sup>2</sup> e, tem como afluentes os rios Messinge, Lucheringo e Lugenda, que têm origem em Niassa e possuem um elevado potencial hidroeléctrico (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

O rio Zambeze é o rio mais importante, devido às suas características hidrológicas, que atravessa o país, com 2 600km de comprimento, e com nascente na Zâmbia. A barragem de Cabora Bassa, a maior do país, resulta do represamento das águas deste rio, em Songo. Este rio apresenta um caudal de cerca de 16 000 m<sup>3</sup>/s, e transporta e deposita anualmente mais de 500 000 000 de toneladas de aluviões (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

O rio Save limita as províncias do centro e do sul de Moçambique, separando Manica e Sofala, no centro, e Inhambane e Gaza, no sul. Tem a sua nascente nas terras altas do Zimbabwé e uma direcção de Oeste-Leste, desaguando no Oceano Índico. A sua bacia hidrográfica tem uma área, em território moçambicano, de 14 646 km<sup>2</sup>, sendo o seu regime condicionado pelo clima e pelos aproveitamentos hídricos (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

Entre as bacias dos rios Zambeze e Save, os cursos de água apresentam grande erosão e capacidade de transporte de materiais devido ao grande desnível existente entre as zonas, de alta e baixa altitude.

A zona centro do país tem como rios mais importantes, o rio Púnguè e Búzi, que têm as suas nascentes nas terras altas de Zimbabwé e desaguam na baía de Mazanzane, no Oceano Índico. O rio Púnguè possui uma bacia hidrográfica com 29 500 km<sup>2</sup> de áreas, dos quais 28 000 km<sup>2</sup> fazem parte de Moçambique.

A zona sul do país tem como rios mais importantes, o rio Govuro, Inhanombe, Limpopo, Incomáti, Umbelúzi, Tembe e Maputo. Excepto os rios Govuro e Inhanombe, todos os outros nascem em países vizinhos e atravessam os Montes Limlombos. Desta forma, quando atingem as planícies, as suas capacidades erosivas e de transporte de materiais diminui, formando nas margens planícies aluviais bastante favoráveis à agricultura (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

O rio Limpopo devido à extensão da sua bacia hidrográfica é considerado o rio mais importante da região sul do país. Este nasce na África do Sul e entra em território moçambicano na confluência com o rio Pafúri. Tem uma área de 412 000 km<sup>2</sup> e 1 170 km de comprimento dos quais 600 km se encontram em Moçambique, ocupando uma área de 80 000 km<sup>2</sup>. O seu caudal tem um comportamento muito variável, dependendo das condições climáticas, apresenta leito muito seco na

época de estiagem e cheio na época de chuva. Os seus principais afluentes são o rio Nuanetze, Chichacuare e Changane, na margem esquerda e o rio Elefantes, na margem direita. Em Moçambique a sua principal infra-estrutura hidráulica é a barragem de Massingir, com uma albufeira com capacidade de armazenamento de água de 2 840 milhões m<sup>3</sup>. Tem um potencial considerado no que diz respeito ao mercado agrícola e também em empreendimentos mineiros, nomeadamente na extracção de areias (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

O rio Umbeluzi tem a sua nascente na Suazilândia, na fronteira Oeste com a África do Sul, com direcção de escoamento para Leste, desaguando depois no Oceano Índico a sul da capital moçambicana. A sua bacia tem grande importância a nível agrícola, a montante da barragem dos Pequenos Libombos e a jusante da mesma encontra-se uma estação de captação de água para abastecimento da cidade de Maputo. O principal problema da bacia é a descarga de efluentes da referida estação de tratamento e intrusão salina na foz do rio (ARA-Sul, 2008).

A bacia do rio de Maputo tem uma área de cerca de 29 030 km<sup>2</sup>, pertencendo 27 260 km<sup>2</sup> aos países da Suazilândia e África do Sul e os restantes 1 770 km<sup>2</sup> a Moçambique. A região mais baixa de Maputo sofre também a influência de intrusão salina, que aumenta com os baixos caudais (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

O rio Incomati tem a sua nascente na África do Sul, tendo escoamento para Leste, atravessando a Suazilândia onde toma depois um escoamento de direcção para norte devido à cordilheira de Libombos, entrando assim em Moçambique. Tem principal importância de utilização para as açucareiras e alguns agricultores, e também alguma importância a nível hidroeléctrico, para a Central hidroeléctrica de Corumana para suprir os défices em períodos de alto consumo (Cumbe, 2007 e ARA-Sul, 2008).

Para além dos rios mais importante, o rio Matola, o Infulene e o Inhambane têm também o seu contributo hídrico no país.

O rio Matola é um rio nacional com nascente na planície Vundice, distrito de Moamba, província de Maputo. Tem cerca de 60 km de comprimento, um escoamento de Norte para Sul e desagua junto às cidades de Maputo e Matola. Tal como os rios Limpopo e Umbeluzi, sofre de intrusões salinas na foz e é afectado pelos efluentes de uma indústria de produção de lingotes de alumínio (ARA-Sul, 2008).

O rio Infulene tem um comprimento de 24 km, uma área de 130 km<sup>2</sup> e um caudal variável entre os 0,2 e os 7 m<sup>3</sup>/s. Os seus principais afluentes são os efluentes de diversas indústrias existentes na área e de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) (ARA-Sul, 2008).

O rio de Inhambane pertence a uma das maiores bacias hidrográficas do país que contempla também os rios Govuro e Save, que corresponde a 70% da área total. Este rio, ao contrário do rio Save, não tem grande utilização, tendo assim como principal utilização, a captação de água numa pequena escala (ARA-Sul, 2008).

Além dos rios, Moçambique é caracterizado pela existência de grandes lagos. Estes podem ter origens diversas. Os lagos tectónicos mais importantes, segundo Muchangos, devido às suas dimensões são Niassa, Chiúta, Amaramba e Chirua, que se localizam na zona noroeste do país. Os lagos que tiveram origem por factores exógenos, como erosão e acumulação de sedimentos, os mais importantes destes encontram-se no litoral a sul do Rio Save e são os lagos Quissico e Poolela (Inharrime), Nhambavale (Chidenguele), Bilene, Manhali, Zevane, Muanguane, Nhamanene, Dongane e Piti (Cumbe, 2007).

Outro recurso hídrico importante é o Canal de Moçambique, Figura 4.8. Este canal é uma porção do Oceano Índico, situado entre a costa da África Oriental e Madagáscar. A sua origem provém de actividade vulcânica extensiva ao longo das fronteiras entre África, Antárctica e Madagáscar, que teve início no Jurássico Médio (Cumbe, 2007).



FIGURA 4.8- Imagem de Satélite do Canal de Moçambique (Fonte: Google Earth)

Além de recursos hídricos superficiais Moçambique têm ainda diversos aquíferos freáticos, devido às formações geológicas existentes no país.

Contudo, como a maioria dos rios não têm nascente em Moçambique, este apresenta grande dependência no que diz respeito aos recursos hídricos, visto a maioria dos rios que o atravessam terem as suas nascentes nos países vizinhos, implicando uma extracção e uso significativo de água a montante. Essa extracção nos países vizinhos pode ser bastante significativa para Moçambique, bem como o uso que fazem desses recursos que pode, além de abusivo, deteriorar a qualidade da água, visto que muitos destes países, tal como o caso de Moçambique, não terem acesso a serviços de saneamento básico.

Por outro, lado o clima tropical é também um dos responsáveis pela deficiente disponibilidade hídrica, devido à instabilidade pluviométrica, provocando épocas rígidas de cheias ou de secas.

Moçambique é caracterizado por três formações geológicas. Formações sedimentares quaternárias, que cobrem toda a região Sul do Rio Save, a zona costeira das províncias de Sofala e Nampula, o vale do Baixo Zambeze e a província de Cabo Delgado a Este de Mueda; formações de rochas metamórficas primárias e pré-câmbrias, nos planaltos e parte de zonas montanhosas cobrindo as províncias de Cabo Delgado, Niassa, Nampula e Manica e, formações de rochas eruptivas que cobrem a maior parte da região montanhosa do país (Républica de Moçambique, 2007).

#### 4.3 INICIATIVAS MUNDIAIS NO ÂMBITO DA PROBLEMÁTICA DA ESCASSEZ DE ÁGUA

Desde o ano 4000 A.C. que existem métodos para melhorar o sabor e odor da água. A preocupação pelo tratamento de água é algo bastante antigo, tendo-se focado inicialmente no tratamento estético da água (EPA, 2000).

Em 1992, na Cimeira do Rio, da ONU, nasceu o conceito de Desenvolvimento Sustentável, sendo a escassez e qualidade da água um dos sectores avaliados neste conceito, no sentido de arranjar soluções de modo a reverter ou minimizar o problema (Cordovil, 2008).

De modo a reafirmar os objectivos propostos na cimeira anterior, a Cimeira do Milénio da ONU, em 2000, onde foram acordados 8 objectivos e definidas 18 metas, designados por “Objectivos de Desenvolvimento do Milénio” - *Millenium Development Goal's* (MDG). Estes objectivos têm em vista alcançar, até 2015, um equilíbrio mundial, tanto a nível de desenvolvimento económico, social e ambiental. Os objectivos do MDG descrevem desde a necessidade de erradicar a pobreza, como prevenir a propagação do vírus HIV/Sida. Dentro dos objectivos propostos o acesso à água potável é também um dos sectores a intervir, estando presente no objectivo 7, na meta 10, que tem como

resolução a redução para metade, a percentagem de população sem acesso a água potável e saneamento básico (United Nations, 2008). No mesmo seguimento outras organizações mundiais focaram-se no mesmo objectivo, ou seja, no desenvolvimento sustentável do mundo, sendo tópico do acesso a água potável comum a todos.

Desta forma, para a avaliação e complemento dos MDG's propostos pela ONU, a Organização Mundial de Saúde (OMS) em a parceria com a Fundação para crianças das Nações Unidas (UNICEF – *United Nations Children's Fund*) realizaram um Programa de Monitorização de Abastecimento de Água e Saneamento (JMP – *Joint Monitoring Programme for water supply and sanitation*), tendo como objectivo avaliar as evoluções que são feitas, relativamente ao abastecimento e saneamento, para se conseguir atingir o objectivo proposto pelo MDG (WHO, UNICEF, 2010). O relatório JMP indica factores, como estatísticas sobre a situação global e as disparidades entre regiões urbanas e rurais e entre os diferentes estratos económicos (UN-Water, 2010).

Do mesmo modo, uma associação do Banco Mundial, Associação de Desenvolvimento Internacional (IDA – *International Development Association*), desenvolveu um outro relatório com o título “IDA at work – Sanitation and Water Supply: Improving Services for the Poor”, onde é descrito como a IDA ajuda os países a melhorar os seus acessos a água para abastecimento e saneamento básico. A associação tem ajudado a melhorar o acesso à água e saneamento aos países mais pobres, tendo conseguido alguns progressos desde os últimos 15 anos, tendo conseguido que os países com quem trabalha, tenham sofrido um aumento de 65% da população com acesso a água potável em 1990, para 75% em 2004 (IDA, 2007).

A IDA, desde de 1998, que contribui com ajudas monetárias para o sector da água e saneamento, tendo contribuído em 2006 com cerca de US\$585 milhões. Metade destas ajudas têm sido empregues em projectos, em África, e o restante em projectos na Ásia Oriental e do Sul, que são duas das regiões que também apresentam grandes lacunas em atingir as metas do MDG. A instituição financiou US \$126 milhões, desde 1998 a 2007, para projectos de produção e construção de serviços de água em regiões urbanas e rurais (IDA, 2007).

Em 2003, surge um mecanismo de ajuda e coordenação da UNO, a UN-Water, que tem como objectivo responder a questões relacionadas com a água, dentro de vários temas, ou seja, é um mecanismo que permite promover uma maior cooperação entre outras agências e parceiros, sobre programas e projectos da UNO. Este mecanismo desenvolveu um documento de avaliação global sobre o saneamento e água para consumo humano, tendo como título “UN-Water Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking-Water” (GLAAS). O GLAAS foi desenvolvido para evidenciar questões base ou informações de acções da UN-Water a membros e parceiros. O GLAAS espera

elucidar os esforços feitos para atingir a meta do MDG, até 2015, sobre as pessoas que não têm acesso a água potável e saneamento básico. É também destacado outros desafios, que precisam de ser tratados pela UNO. O primeiro relatório do GLAAS reuniu dados de pesquisa de 42 países e de 27 agências, relativa ao acesso a água potável e saneamento básico (UN-Water, 2010).

Em suma, todos estes documentos e associações têm em vista responder às questões de falta de água, a chave do problema em África, investindo no desenvolvimento dos recursos de água em África e, reduzindo desta maneira o número de pessoas que não têm acesso a água potável e saneamento adequado.

#### 4.4 PROBLEMAS ASSOCIADOS À ESCASSEZ DE ÁGUA POTÁVEL

A falta de sistemas de saneamento básico e de tratamento de água são factores responsáveis pela falta de água com qualidade para consumo humano. A ingestão de água com condições impróprias para consumo humana provoca diversos problemas de saúde, principalmente em países em desenvolvimento.

Segundo Peter-Varbanetsa, et al., 2009, os principais riscos de consumo de água nos países em desenvolvimento estão associados a contaminações microbiológicas. Cerca de vinte e quatro doenças infecciosas existentes estão relacionadas com a qualidade da água. Estas doenças estão, predominantemente, relacionadas com a contaminação fecal das águas.

A utilização das águas contaminadas, tanto para beber, como cozinhar, ou a simples ingestão durante o banho, ou a sua inalação em pequenas gotas, sob a forma de aerossóis, pode resultar numa infecção (Gadgil, 1998).

Segundo a ONU, a ausência de sistemas de abastecimento de água potável é responsável por 80% das mortes, nos países em desenvolvimento. Seis mil crianças, com menos de cinco anos de idade, morrem por dia, devido a doenças relacionadas com a qualidade da água.

Stephenson, 1998, classifica as doenças consoante o seu modo de propagação, podendo estar relacionadas directamente com o consumo de água, com a higiene, apenas com o contacto com a água e, associada a vectores desenvolvidos na água.

- Doenças relacionadas com o consumo directo de água – as doenças surgem na maioria através já ingestão de água contaminada. Os organismos responsáveis por estas doenças são bactérias (*Vibrio cholerae* e a *Salmonella typhi*), por vírus (*hepatitis A*, *rotaviruses* e *enteroviruses*), por protozoários (*giardia lamblia*, *histolytica*). Estes agentes são de fácil

transmissão através do sistema de distribuição de água e, derivam de matéria fecal que está presente na água, devido a falta de saneamento;

- Doenças relacionadas com a higiene – as doenças desta categoria derivam de infecções causadas pela falta de higiene pessoal e doméstica. Todas as doenças de origem em transmissão fecal, encontram-se nesta categoria. As doenças caracteriscas são doenças de pele e tracomas e, doenças diarreicas, causadas pelo *Shigella spp.* Segundo dados da OMS, 88% das doenças diarreicas, derivam de água não tratada e, o melhoramento da qualidade da água, reduzi-la a mortalidade por doenças diarreicas, entre 6 a 25% (WHO, 2004).
- Doenças devido apenas ao contacto com a água – doenças transmitidas por animais invertebrados que vivam ou passem uma parte do seu ciclo de vida na água, causando infecções através do seu contacto com a pele humana. A doença mais conhecida é a *Schistosomiasis* (bilharzia).
- Doenças associadas a vectores desenvolvidos na água – doenças transmitidas por organismos patogénicos, através de insectos, desenvolvidos na água e que picam o homem. As doenças em questão são na sua maioria a malária, a febre amarela e a dengue. A OMS revela que 1,3 milhões de pessoas morrem todos os anos de malária, sendo 90% crianças com menos de cinco anos de idade (WHO, 2004).





## 5 SELECÇÃO DO LOCAL EM MOÇAMBIQUE

A selecção do local foi feita, tendo em conta a informação conseguida, através da avaliação da qualidade de água de Moçambique.

No presente trabalho não foi possível recolher dados *in situ*, deste modo os valores apresentados foram obtidos através do Relatório do Estado da Qualidade da água de Moçambique, desenvolvido pela ARA-Sul.

Esta administração é uma instituição dotada de personalidade jurídica e de autonomia administrativa, patrimonial e financeira, sendo tutelada pelo Ministério das Obras Públicas e Habitação. A direcção tem apenas a seu cargo as águas da região sul do país, gerindo quatro (4) unidades hidrográficas do país, a da Bacia de Umbeluzi, a da Bacia do Incomati, a da Bacia do Limpopo, e por fim a Bacia de Save (Figura 5.1).

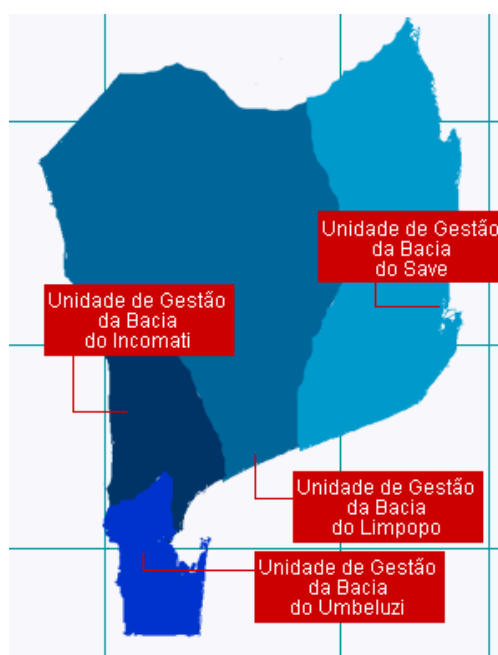


FIGURA 5.1- Carta Hidrológica das bacias administradas pela ARA-SUL (Disponível em: [www.ara-sul.co.mz](http://www.ara-sul.co.mz))

A avaliação e análise da qualidade da água são feitas com base em disposições legais criadas para esse efeito.

Moçambique, recorrendo às indicações das OMS, detém como aplicação legal o Regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano, criado pelo Ministério da Saúde de Moçambique, que tem por objectivo fixar os parâmetros de qualidade da água destinada ao consumo humano e as modalidades de realização do seu controlo, tendo em vista a protecção da saúde humana. No Anexo I, do referido regulamento, estão dispostos os parâmetros de qualidade de água destinada ao

consumo humano e os riscos para a saúde pública. Os parâmetros são apresentados na Tabela 5.1, Tabela 5.2 e na Tabela 5.3.

TABELA 5.1- Parâmetros químicos de qualidade da água para consumo humano

| PARÂMETROS QUÍMICOS                     |           |          |   |
|---|-----------|----------|---|
| Parâmetros                              | VMA       | Unidades | Risco para a saúde  |
| Amoníaco                                | 1,5       | mg/L     | Sabor e cheiro desagradável                                     |
| Alumínio                                | 0,2       | mg/L     | Afecta o sistema locomotor e causa anemia                       |
| Arsénio                                 | 0,01      | mg/L     | Cancro de pele  |
| Antimónio                               | 0,005     | mg/L     | Cancro no sangue  |
| Bário                                   | 0,7       | mg/L     | Doenças cardiovasculares  |
| Boro                                    | 0,3       | mg/L     | Gastroenterites   |
| Cádmio                                  | 0,003     | mg/L     | Vasoconstrição urinária   |
| Cálcio                                  | 50        | mg/L     | Aumenta a dureza da água  |
| Chumbo                                  | 0,01      | mg/L     | Intoxicação aguda   |
| Cianeto                                 | 0,07      | mg/L     | Bócio e paralisia   |
| Cloretos                                | 250       | mg/L     | Sabor desagradável e corrosão                                   |
| Cloro Residual Total                    | 0,2 - 0,5 | mg/L     | Sabor e cheiro desagradável                                     |
| Cobre                                   | 1         | mg/L     | Irritação intestinal  |
| Crómio                                  | 0,05      | mg/L     | Gastroenterites, hemorragias e convulsões                       |
| Dureza Total                            | 500       | mg/L     | Depósitos, corrosão e espumas                                   |
| Fósforo                                 | 0,1       | mg/L     | Aumento de proliferação de microrganismos                       |
| Ferro total                             | 0,3       | mg/L     | Necrose hemorrágica   |
| Fluoreto                                | 1,5       | mg/L     | Afecta o tecido esquelético                                     |
| Matéria Orgânica                        | 2,5       | mg/L     | Aumento de proliferação de microrganismos                       |
| Magnésio                                | 50        | mg/L     | Sabor desagradável  |
| Manganês                                | 0,1       | mg/L     | Anemia, afecta o sistema nervoso                                |
| Mercúrio                                | 0,001     | mg/L     | Distúrbios renais e neurológicos                                |
| Molibdénio                              | 0,07      | mg/L     | Distúrbios urinários  |
| Nitrito                                 | 3         | mg/L     | Reduz o oxigénio no sangue                                      |
| Nitrato                                 | 50        | mg/L     | Reduz o oxigénio no sangue                                      |
| Níquel                                  | 0,02      | mg/L     | Eczemas e intoxicações  |
| Sódio                                   | 200       | mg/L     | Sabor desagradável  |
| Sulfato                                 | 250       | mg/L     | Sabor e corrosão  |
| Selénio                                 | 0,01      | mg/L     | Doenças cardiovasculares  |
| Zinco                                   | 3         | mg/L     | Aparência e sabor desagradável                                  |
| Pesticidas totais                       | 0,0005    | mg/L     | Intoxicações e distúrbios de várias ordens                      |
| Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos | 0,0001    | mg/L     | Sabor desagradável, intoxicações e distúrbios de varias origens |

TABELA 5.2-Parâmetros microbiológicos de qualidade da água para consumo humano

| PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS |         |  |                           |
|----------------------------|---------|--|---------------------------|
| Parâmetros                 | VMA     | Unidades                                     | Risco para a saúde        |
| <b>Coliformes totais</b>   | Ausente | NMP/100 ml ou n <sup>o</sup> colónias/100 ml | Doenças gastrointestinais |
| <b>Coliformes fecais</b>   | Ausente | NMP/100 ml ou n <sup>o</sup> colónias/100 ml | Doenças gastrointestinais |
| <b>Víbrio Cholerae</b>     | Ausente | 1000 ml                                      | Doenças gastrointestinais |

TABELA 5.3-Parâmetros físicos e organolépticos de qualidade da água de consumo humano

| PARÂMETROS FÍSICOS E ORGANOLÉPTICOS |           |                  |                                    |
|-------------------------------------|-----------|------------------|------------------------------------|
| Parâmetros                          | VMA       | Unidades         | Risco para a saúde                 |
| <b>Cor</b>                          | 15        | TCU <sup>a</sup> | Aparência                          |
| <b>Cheiro</b>                       | Inodoro   | -                | Sabor                              |
| <b>Condutividade</b>                | 50 - 2000 | µs/cm            | -                                  |
| <b>pH</b>                           | 6,5 - 8,5 | -                | Sabor, corrosão, irritação da pele |
| <b>Sabor</b>                        | Insípido  | -                | -                                  |
| <b>Sólidos Totais</b>               | 1000      | mg/L             | Sabor, corrosão                    |
| <b>Turvação</b>                     | 5         | NTU <sup>b</sup> | -                                  |

A avaliação da qualidade da água, por parte da ARA-Sul, foi feita através da análise de 13 parâmetros, com uma monitorização trimestral, sendo os valores apresentados referentes ao período de Abril a Junho de 2008. Os parâmetros estudados, bem como a escala de medição dos mesmos estão apresentados na Tabela 5.4.

A análise foi feita em diversos pontos de cada bacia hidrográfica administrada pela ARA-Sul, em ambos os trimestres. No entanto devido à inexistência de kits de análise, é necessário referir que nem todos os parâmetros inicialmente propostos de monitorização foram analisados, conforme é referido no relatório, tais como o oxigénio dissolvido, a alcalinidade e fosfato total.

Devido à falta de informação e de dados disponíveis, visto ser ainda um país muito pouco desenvolvido e com grandes lacunas de informação, a caracterização da água e, por sua vez do local em estudo, é feita com base nos valores que apresentam pior qualidade de água, assumindo que traduz a situação mais desfavorável.

<sup>a</sup> TCU – True colour unit

<sup>b</sup> NTU – Nephelometric turbidity unit

TABELA 5.4-Parâmetros, escala e local de medição para avaliação da qualidade da água

| Parâmetros                  | Unidades | Local de medição |
|-----------------------------|----------|------------------|
| Oxigénio Dissolvido (OD)    | mg/L     | <i>in situ</i>   |
| pH                          | -        | <i>in situ</i>   |
| Condutividade (S)           | µS/cm    | <i>in situ</i>   |
| Temperatura (T)             | °C       | <i>in situ</i>   |
| Turvação                    | NTU      | Laboratório      |
| Cloretos                    | mg /L    | Laboratório      |
| Dureza Total (DT)           | mg /L    | Laboratório      |
| Fósforo Total (FT)          | mg/L     | Laboratório      |
| Alcalinidade (Alc.)         | -        | Laboratório      |
| Amoníaco                    | mg /L    | Laboratório      |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> ) | mg /L    | Laboratório      |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> ) | mg /L    | Laboratório      |

Os valores de qualidade de água das bacias dos rios monitorizados pela ARA-Sul encontram-se presentes nas Tabelas A.1 a A.7 em anexo. Da análise dos valores apresentados verificou-se que o Rio Matola é o que apresenta pior qualidade de água, ultrapassando os limites máximos admissíveis, de acordo com o Regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano, criado pelo Ministério da Saúde de Moçambique, relativamente à condutividade, dureza total, turvação, amoníaco e cloretos, sendo este o parâmetro que mais longe se encontra dos limites estabelecidos. Os valores de análise estão descritos na Tabela 5.5.

TABELA 5.5- Valores de qualidade do Rio Matola

| Estações <sup>c</sup> | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|-----------------------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1                     | 1º                  | 24,1   | 7,31 | 22 912    | 8 433     | 24 578          | 13,2                   | 0,1                    | 2,3             | 38,1           |
|                       | 2º                  | 21,2   | 7,42 | 1 110     | 178       | 193             | 6,3                    | 0,2                    | 0,6             | 35             |
| 2                     | 1º                  | 25,9   | 7,33 | 28 000    | 10 600    | 30 301          | 5                      | 0,03                   | 0,6             | 5,9            |
|                       | 2º                  | 21,2   | 7,42 | 28 500    | 16 500    | 10 635          | 18,6                   | 0,03                   | 1,2             | 4,5            |

Pelos valores, verifica-se que a água apresenta elevados teores de condutividade eléctrica, ou seja, contem uma elevada quantidade de iões dissolvidos na água, que por sua vez se traduz numa elevada salinidade. Além da condutividade, os parâmetros da dureza total e cloretos também são

<sup>c</sup> A Estação 1 e 2 são referentes a dois pontos de amostragem, realizados no rio Matola pela entidade ARA-Sul.

bastante elevados, devido à influência das marés. Os valores de turvação também são elevados, devendo-se à presença de partículas em suspensão na água, tornando a água mais escura e turva.

Estes dados indicam que a água é imprópria para consumo directo, apresentando características similares à água do mar.

Apesar de não ser feita qualquer referência a valores de COT, ou seja, de matéria orgânica como é referida no regulamento de qualidade de água, bem como a presença de microrganismos, estes parâmetros serão tidos em conta aquando a concepção do sistema de tratamento, visto serem parâmetros importantes na qualidade de água para consumo humano e que podem existir com certa facilidade nas águas brutas, principalmente tendo em conta as condições de saneamento locais.

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL EM ESTUDO

Como referido no capítulo 4.2.1, este rio tem a sua nascente num dos distritos de Maputo, Moamba (Figura 5.2). O distrito de Moamba tem uma população estimada de cerca de 63 390 habitantes, sendo o distrito dividido em quatro (4) postos administrativos. O posto administrativo de Pessene com 14 708 habitantes, de Ressano Garcia com 12 626 habitantes, Sábiè com 17 217 habitantes e, Moamba com 17 841 habitantes (Républica de Moçambique, 2005).

Quase metade do território do distrito é de solo fértil, sendo apenas 23% dessa área de terra fértil, ocupada por explorações agrícolas e pecuárias e, relativamente a actividade industrial, apesar de rica em matéria-prima para indústria cerâmica, não existem infra-estruturas nem capital para a sua realização. (Républica de Moçambique, 2005).

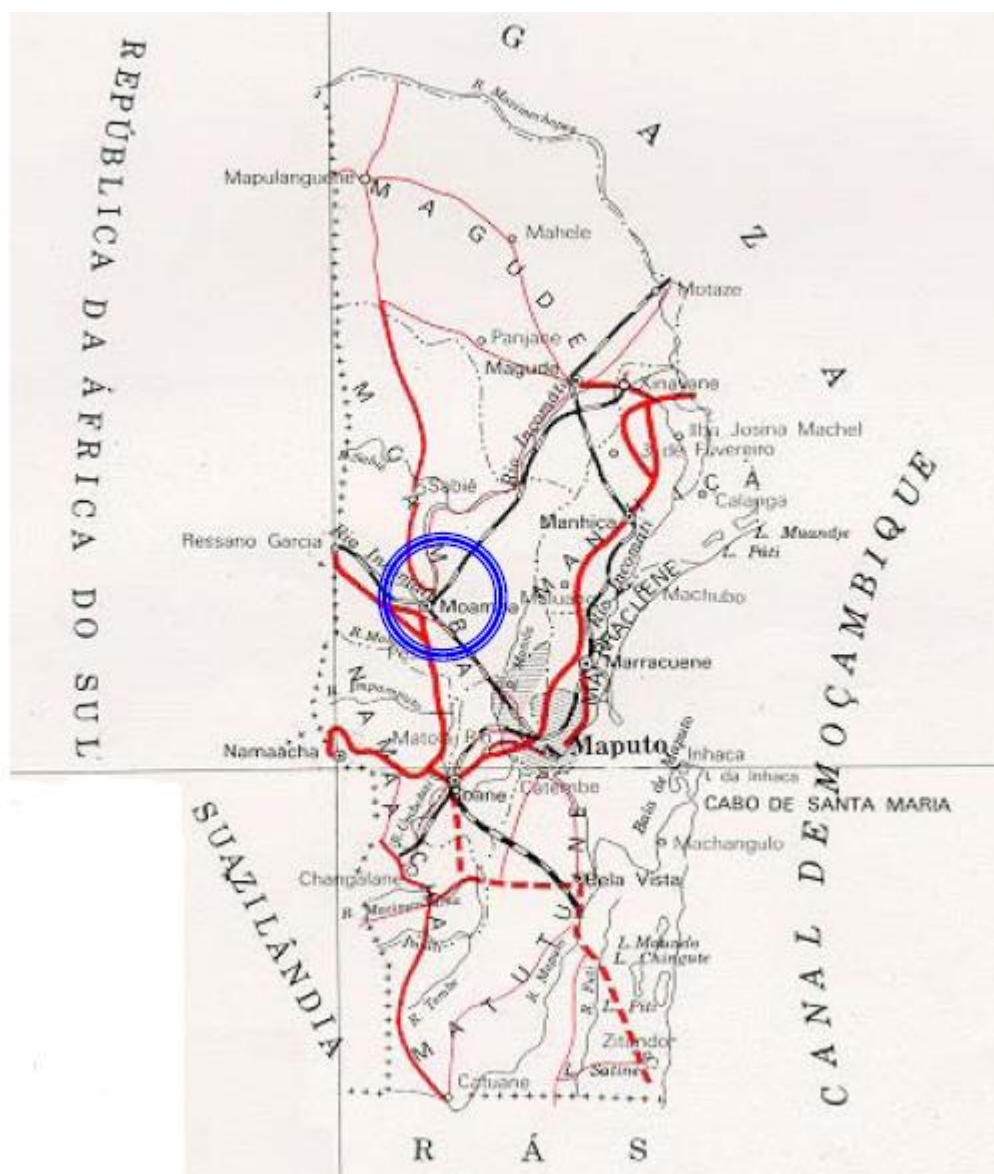


FIGURA 5.2- Mapa de localização de Moamba (Fonte: República de Moçambique, 2005)

## 6 SELECÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com base na legislação de Moçambique e documentos da OMS, seleccionou-se alguns parâmetros com relevância para o presente estudo. Os parâmetros abordados estão divididos em três (3) grupos, os organolépticos e físico, químicos e microbiológicos, segundo o regulamento de qualidade de água.

### 6.1 PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS E FÍSICOS

#### 6.1.1 Cor

A cor é um parâmetro que causa um efeito sensorial, não induzindo problemas de saúde, mas alguma estranheza ao consumidor. No entanto, uma água com coloração pode não ter qualquer influência negativa na saúde, mas uma água translúcida pode ter, caso parâmetros químicos ou biológicos não estejam dentro dos limites aceitáveis (Mendes, et al., 2004).

Trata-se de uma propriedade resultante das substâncias contidas em solução ou em suspensão, sejam estas orgânicas ou inorgânicas. É necessário fazer distinção entre cor real ou verdadeira, causada pelas substâncias em solução e, cor aparente causada tanto pelas substâncias em solução como suspensas. Deste modo a única cor que se considera é a cor real, pois a água para consumo não deve conter sólidos em suspensão (Mendes, et al., 2004).

As variações de cor de uma massa de água são diversas podendo estar relacionadas com substâncias em solução ou em suspensão, como iões metálicos, substâncias húmicas, fitoplâncton, com a qualidade da luz incidente ou com a cor do ambiente envolvente (Mendes, *et al.*, 2004 e Richter, *et al.*, 1991).

Apesar da sua presença não acarretar problemas de saúde, não pode ser descurada, principalmente quando esta é conferida por compostos orgânicos (ácidos húmicos e fúlvicos), visto serem potenciais precursores de trihalometanos quando a água é trata com cloro nos sistemas de tratamento.

A sua eliminação pode ser conseguida, recorrendo a diversos métodos, em função da natureza dos agentes corantes presentes. Sendo possível recorrer a operações de coagulação/floculação e posterior decantação ou filtração (Mendes, et al., 2004).

A presença de cor pode causar problemas quando se recorre a um sistema de tratamento de desinfecção de água por radiações ultravioleta (UV), tornando necessário a sua remoção em fase anterior (Mendes, et al., 2004).

Segundo Richter, *et al.*, 1991, sendo a cor sensível ao pH, quanto mais baixo, mais fácil será a sua remoção.

### 6.1.2 Turvação

A turvação deve-se à presença de partículas em suspensão, de materiais diversos, como argilas, matéria orgânica e inorgânica, areias e outros.

A sua presença provoca uma reacção negativa ao consumidor, rejeitando à partida águas mais turvas, no entanto águas turvas não significam necessariamente águas com risco para a saúde pública, indicando contudo que a sua qualidade é duvidosa ou, que o tratamento pelo que passou não foi o correcto. Sendo deste modo, um parâmetro de eficiência de tratamento de água (Mendes, et al., 2004).

O perigo numa água turva não reside nas partículas em suspensão existentes, mas sim no perigo de bactérias e vírus se fixarem nessas mesmas partículas.

A sua eliminação, para além do aspecto estético, permite uma desinfecção mais eficaz, evitando a fixação dos organismos, sendo por isso, a desinfecção mais eficaz quanto menor a turbidez da água (Richter, et al., 1991). Uma boa desinfecção, segundo Mendes *et al.*, 2004, de água tratada deverá ser feita em águas brutas cuja turvação não seja superior a 1 NTU, unidade de medida de turvação .

A eliminação da turvação pode ser feita através de processos de filtração ou por sequências de tratamento por coagulação/floculação/sedimentação/filtração, dependendo da quantidade de partículas em suspensão (Mendes, et al., 2004).

### 6.1.3 Sabor e Cheiro

O sabor e cheiro são, normalmente, avaliados em conjunto, pois a sensação de sabor é originada pelo cheiro ou odor. São parâmetros difíceis de avaliar, pois são sensações subjectivas, causados por diversos factores como matéria orgânica, gases dissolvidos ou efluentes industriais. Os odores são normalmente causados por algas ou decomposição da matéria orgânica (AWWA, 1979).

Estas características podem existir tanto em águas brutas, devido à actividade microbiológica, como em águas tratadas devido ao sistema de distribuição ou mesmo ao sistema de tratamento usado. O uso de cloro, como desinfectante, pode gerar productos voláteis com elevado poder olfactivo, resultante da sua combinação com substâncias orgânicas presentes na massa de água.

Estudos desenvolvidos nesta temática, identificaram diversas substâncias responsáveis pelo sabor e cheiro nas águas de consumo, tratando-se de produtos resultantes do metabolismo microbiano. Duas dessas substâncias são a geosmina, identificada em 1965 por Gerber e LeChevalier e o composto 2-metilisobornoel ou MIB, identificado por Gerber em 1969.



Ambas as substâncias são álcoois terciários de baixo peso molecular, produzidos por cianobactérias e actinobactérias. Estes compostos conferem à água um odor a terra/mofo, sendo difícil a sua remoção através de sistemas de tratamento convencionais (Martrano, 2010).

A eliminação dos odores baseia-se na absorção dos conjuntos voláteis por eles responsáveis. A eliminação do sabor pode ser feita através de operações de filtração, oxidação, arejamento ou absorção em carvão activado (Mendes, et al., 2004).

#### 6.1.4 Temperatura

A temperatura é um parâmetro que tem influência sobre outras propriedades, na velocidade das reacções químicas, na solubilidade dos gases e na sensação de odor e sabor da água (Richter, et al., 1991).

Os intervalos de temperaturas a que as águas se encontram variam, normalmente, entre 12°C e os 25°C, embora estejam dependentes de factores meteorológicos e condições geográficas. Outro factor que pode fazer variar a temperatura é a descarga de águas de arrefecimento de fábricas ou centrais termoeléctricas (Mendes, et al., 2004).

A ocorrência de temperaturas fora dos limites acima descritos pode ter influências no processo de tratamento. Se a temperatura estiver demasiado baixa, esta influencia negativamente a operação de desinfecção, aumenta a viscosidade da água e diminui as velocidades de sedimentação e de filtração. Por outro lado, se a temperatura for superior ao limite máximo, provoca uma aceleração no crescimento microbiano, produzindo sabores e odores desagradáveis e diminui o pH óptimo da água, influenciando a floculação, podendo aumentar a formação de trihalometanos (THM), quando adicionado cloro na água, havendo presença de resíduos de matéria orgânica (Mendes, et al., 2004).

#### 6.1.5 pH

O pH representa uma medida de acidez da água, ou da sua alcalinidade, traduzida pela concentração do ião de hidrogénio  $[H^+]$ . A forma de exprimir o pH é através do logaritmo decimal da concentração de iões de hidrogénio:

$$pH = -\log[H^+]$$

A escala de pH varia entre 0 (muito ácido) a 14 (muito alcalino). Normalmente as águas naturais terem valores de pH entre 6,5 a 8. No entanto, as águas superficiais, como consequência da actividade biológica das algas, e principalmente no Verão, valores anormalmente elevados (EPA, 2001).

O pH não afecta directamente a saúde humana, no entanto afecta a eficiência de tratamento da água, nas operações de coagulação/floculação/filtração e também a desinfecção, com cloro (Mendes, et al., 2004).

Segundo Richter, *et al.*, 1991, as águas de baixo pH tendem a ser corrosivas ou agressivas para determinados metais, e as de elevado pH tendem a formar incrustações. Dai a importância do pH no equilíbrio cálcio-carbónico de uma água, permitindo assim manter a água em equilíbrio, evitando deste modo que seja uma água agressiva ou incrustante.

De modo a que a água atinja o equilíbrio, é necessário, por vezes, recorrer ao ajuste do pH. De acordo com Richter, *et al.*, 1991, para baixar o pH de uma água é necessário adicionar soluções ácidas, como ácido sulfúrico, ácido clorídrico ou injectar gás carbónico. Para elevar o pH poderá recorrer-se ao arejamento da água, de modo a eliminar o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que esteja presente na água ou através da adição de NaOH, por exemplo.

#### 6.1.6 Condutividade

A condutividade de uma água traduz-se pela capacidade da mesma para conduzir corrente eléctrica, resultante do teor de iões dissolvidos na água. A condutividade depende da quantidade de substâncias dissolvidas na água, mas também da temperatura da água (Mendes, et al., 2004).

A origem dos referidos iões pode ser diversa. Pode resultar de processos de lixiviação dos solos (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloretos, nitratos, cálcio, magnésio entre outros), ou podem também resultar de efluentes e resíduos agrícolas e/ou industriais.

Em termos de saúde pública a condutividade não representa por si só um problema, desde que os limites máximos não sejam ultrapassados, contudo, alguns compostos responsáveis pela condutividade, e em função da sua natureza e características específicas, podem por em causa a saúde do consumidor (Mendes, et al., 2004).

Uma mineralização elevada da água pode levar esta a ter sabores desagradáveis, como por exemplo sabor salgado, de processos de corrosão ou de formação de depósitos. Desta forma, a condutividade pode não afectar o uso da água para consumo, mas afecta a água para usos agrícolas ou industriais (Mendes, et al., 2004).

### 6.1.7 Sólidos Suspensos Totais

Os sólidos suspensos totais correspondem ao teor de partículas em suspensão presentes na água bruta. Estes quando presentes na água tratada acarretam algumas duvidas aos consumidores (Mendes, et al., 2004).

Os sólidos suspensos totais presentes nas águas compreendem argilas, limo, areias, lamas, partículas coloidais orgânicas, entre outros. O seu teor e composição estão muito dependentes da sua origem.

A sua eliminação é conseguida, por norma, através de uma sequência entre coagulação/floculação, decantação e filtração. Além da eliminação de sólidos são também eliminadas a turvação e cor da água, eventualmente presentes (Mendes, et al., 2004).

De acordo com Richter, *et al.*, 1991, se a linha de tratamento incluir a decantação, a remoção de sólidos será cerca de 100%, se apenas incluir filtração, a remoção será entre os 10 e os 95%.

## 6.2 PARÂMETROS QUÍMICOS

### 6.2.1 Dureza Total

A dureza de uma água é conferida pela presença de alguns iões metálicos, nomeadamente, cálcio e magnésio e de sais pesados, como o caso do ferro e alumínio e é expressa carbonato de cálcio, mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Richter, et al., 1991).

Segundo Richter, *et al.*, 1991, a dureza numa água é reconhecida por impedir a formação de espuma como sabão, ou seja, uma água é dura quando é necessário usar mais sabão em lavagens. Isto deve-se à formação de sais insolúveis dos iões metálicos com os ácidos gordos dos sabões, por outro lado, se a água apresentar baixo teor de sais, diz-se que é uma água macia.

A dureza de uma água não é prejudicial à saúde humana, contudo, além do maior gasto em sabão para a formação de espuma, provoca também sabor desagradável na água de consumo, forma depósitos de sais, que podem ser prejudiciais em alguns equipamentos e, provoca ainda manchas na loiça e em têxteis (Mendes, et al., 2004).

A dureza de uma água pode ser devida ao ião cálcio, designando-se por dureza cálcica ou, então devida ao ião magnésio, sendo designada por dureza magnésiana. Em qualquer dos casos a dureza pode ser carbonatada ou não carbonatada.

A análise da dureza de uma água não pode ser limitada apenas aos catiões presentes, mas também aos aniões, aos quais se encontram associados. Tem de se considerar, por um lado os carbonatos e bicarbonatos, e por outro, os nitratos, sulfatos, cloretos, entre outros (Mendes, et al., 2004).

Os teores de sais que podem ser observados nas águas variam dependendo da natureza geológica do terreno, em que a água esteve em contacto. Por norma, a água dura aparece em zonas onde os solos são calcários ou dolomíticos e, uma água macia em solos graníticos.

As águas subterrâneas, que estão em contacto mais prolongado com as formações geológicas são, normalmente, mais duras que as águas superficiais (Mendes, et al., 2004).

A sua remoção pode ser conseguida, ou através de membranas por osmose inversa ou então por precipitação química. Optando pelo processo de precipitação química é necessário a adição de reagentes químicos (Mendes, et al., 2004).

### 6.2.2 Cloretos

Os cloretos são dos sais mais abundantes na natureza, principalmente na água do mar. O teor de cloretos numa água pode ter diversas origens, dependendo da natureza dos terrenos atravessados das condições climáticas, da contaminação por efluentes industriais, de intrusões salinas, e ainda da entrada da água do mar nos rios, na sequência de marés.

Os problemas associados a este anião passam por sabores desagradáveis nas águas de consumo, segundo Mendes, *et al.*, 2004, quando ultrapassam os 250 mg/L, e corrosão nas tubagens metálicas dos sistemas de abastecimento.

A sua eliminação é dispendiosa, podendo recorrer-se a processos como a osmose inversa, permuta iónica, electrodiálise ou destilação. Como são processos pouco viáveis economicamente, a solução passa por diluições, de modo a se obter uma água bruta de qualidade aceitável, quando possível (Mendes, *et al.*, 2004 e Richter, *et al.*, 1991).

### 6.2.3 Fósforo

O fósforo encontra-se na natureza, tanto sob a forma mineral como orgânica. A forma mais comum de se encontrar nas águas, superficiais e subterrâneas, é sob a forma de ião fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), que resulta da dissociação do ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) (Mendes, et al., 2004).

A presença de fósforo nas águas pode resultar por diversas razões, devido à biodegradação das substâncias orgânicas, de lavagens dos solos, ou de resíduos e efluentes industriais, domésticos e agrícolas (Mendes, et al., 2004).

Os compostos fosfatados presentes nas águas, podem estar sob a forma de ortofosfatos, fosfatos condensados ou ligados à matéria orgânica, podendo estar em solução, na forma particulada ou ainda incluída na biomassa dos organismos (Mendes, et al., 2004).

É essencial o controlo dos teores de fósforo nas águas doces superficiais, pois este constitui um factor limitante primário dos processos de eutrofização, devendo-se assim analisar a concentração de iões fosfato nas águas (EPA, 2001).

O teor em fósforo funciona então como um índice de capacidade de eutrofização das massas de água. Não apresenta riscos para a saúde pública de modo directo, mas é uma fonte de inconvenientes potenciais, sendo por isso importante o seu controlo e tratamento (Mendes, *et al.*, 2004 e EPA, 2001).

#### 6.2.4 Sulfatos

A ocorrência de sulfatos nas águas é muito variável, resultando do contacto da água com rochas e solos, ou então pela contaminação de efluentes domésticos e industriais. No caso de tratamento de água, as etapas de coagulação/floculação, com recurso a sulfatos de alumínio ou de ferro, contribuem também para o aumento da concentração de sulfatos numa água (Mendes, *et al.*, 2004).

A poluição atmosférica, nomeadamente as chuvas ácidas, podem também ser uma fonte importante na contaminação das águas com sulfatos (Mendes, *et al.*, 2004).

As concentrações de sulfatos nas águas são muito variados, tendo a si associado catiões, como o cálcio, magnésio e sódio, cujas solubilidades são bastante diversas (Mendes, *et al.*, 2004).

A presença de sulfatos numa água para consumo não tem, por norma, perigo para a saúde, mas depende da concentração presente, se elevada pode causar problemas intestinais, principalmente em crianças ou pessoas não tolerantes a teores tão elevados (Mendes, *et al.*, 2004).

A sua eliminação por processos convencionais não é eficaz, sendo necessário recorrer a processos mais dispendiosos como, por exemplo, electrodialise, osmose inversa ou troca iónica (Mendes, *et al.*, 2004).

#### 6.2.5 Nitratos

O nitrato ( $\text{NO}_3$ ) é uma das formas minerais das quais o azoto existe na natureza. São considerados os compostos azotados mais importantes, visto constituírem, por um lado, um componente essencial à formação de biomassa das plantas e animais e, por outro, funcionam como um poluente importante das águas subterrâneas e superficiais, utilizadas para o consumo humano (EPA, 2001).

Apenas uma pequena parte do nitrato encontrado nas águas tem fonte mineral, é mais comum encontrar em fontes orgânicas ou inorgânicas, pelas descargas de efluentes ou devido a fertilizantes artificiais (EPA, 2001).

Os nitratos são muito solúveis e apresentam elevada mobilidade nos solos, tendo por isso, o seu teor maior expressão nas águas subterrâneas, uma vez que por percolação facilmente atingem os lençóis freáticos (lixiviação). A contaminação de águas superficiais ocorre principalmente por escorrências superficiais, podendo a presença de nitratos ser causada por descargas de águas residuais urbanas, ou por escorrências de terrenos agrícolas com uso intensivo de fertilizantes (Varennnes, 2003).

As elevadas concentrações de nitratos nas águas para consumo humano pode ser bastante perigosas, principalmente em crianças, quando excedido o limite de 50 mg/L, provocando o conhecido síndrome e “bebé azul”. O nitrato não é directamente tóxico, mas é prejudicial para a saúde devido à sua conversão para nitrito, que provoca a formação de meta-hemoglobina (EPA, 2001).

A eliminação de nitratos pode passar por tratamentos físico-químicos, como a osmose inversa, troca iónica ou electrólise ou, por tratamentos biológicos de desnitrificação (Mendes, et al., 2004).

#### 6.2.6 Nitritos

O nitrito ( $\text{NO}_2$ ) existe normalmente em pequenas quantidades, incluindo nos efluentes. Os baixos níveis de nitrito devem-se, principalmente, a este ser reduzido (convertendo-se a amónia) ou, ser oxidado (convertendo-se a nitrato), ou seja, é o intermédio entre a forma de amoníaco e a de nitrato (EPA, 2001).

A sua formação provém, portanto, de origem biológica da redução microbiana dos nitratos, ou química, por oxidação do amoníaco da desinfecção das águas por cloraminas, principalmente devido a altas temperaturas. Como os nitritos são facilmente oxidados ou reduzidos a outros produtos, os seus teores nas massas de água, são, normalmente, bastante reduzidos (EPA, 2001).

Este elemento, como foi referido no tópico dos nitratos, leva à formação de meta-hemoglobina, prejudicial para a saúde. Tal ocorre, quando o nitrito é reduzido a nitrato, dentro do organismo humano, dificultando ou impedindo, a conversão da carboxihemoglobina em oxihemoglobina, manifestando-se assim a doença metahemoglobinémia que leva à morte por asfixia (EPA, 2001).

A remoção dos nitritos da água pode ser conseguida através da oxidação dos nitritos a nitratos, pela acção do cloro ou do ozono (Mendes, et al., 2004).

#### 6.2.7 Azoto Amoniacal e Kjeldahl

O azoto amoniacal pode estar presente na água sob duas formas, sob a forma iónica, como ião amónio,  $\text{NH}_4^+$ , ou sob a forma não ionizada, como amoníaco,  $\text{NH}_3$ . A existência entre estas duas formas de azoto, depende das condições do meio aquático, nomeadamente do pH e da temperatura.

A sua presença indica a presença de matéria vegetal ou animal em decomposição, ou descarga de efluentes industriais (Mendes, et al., 2004).

Teores elevados de azoto amoniacal podem contribuir para a formação de sabores e aromas desagradáveis na água (Mendes, et al., 2004).

A presença de amoníaco na água pode influenciar negativamente os tratamentos de desinfecção da água com cloro, pois o amoníaco reage com o cloro livre, formando cloroaminas, que são prejudiciais para a saúde (EPA, 2001).

O azoto amoniacal pode ser removido por via biológica, através da nitrificação microbiana, recorrendo a um filtro de areia e carvão activado ou, por via química, oxidando o azoto com cloro, tendo o inconveniente acima referido (Mendes, et al., 2004).

O azoto Kjeldahl representa o conjunto de compostos azotados, orgânicos e inorgânicos (amoníaco), excluindo as formas oxidadas, nitratos e nitritos (Mendes, et al., 2004).

Não constitui perigo directo para a saúde, mas é um parâmetro de caracterização de qualidade da água (EPA, 2001).

Visto não poder ser um objecto de tratamento específico, o tratamento por norma a este parâmetro é feito com base em tratamentos de água convencionais, que eliminam as principais substâncias responsáveis pelos valores representativos deste parâmetro (Mendes, et al., 2004).

#### 6.2.8 Ferro e Manganês

O ferro e o manganês surgem muitas vezes associados. O ferro confere um sabor amargo e coloração amarela à água e muitas vezes turvação, devido à sua precipitação quando oxidado, muito característicos dos sais ferrosos (Mendes, et al., 2004).

O uso de águas com a presença destes elementos é prejudicial para indústrias de bebidas de águas gaseificadas e em lavandarias (Mendes, et al., 2004).

O manganês tem características muito semelhantes às do ferro, diferindo na cor que a água apresenta, que é mais acastanhada (Mendes, et al., 2004).

A remoção destes elementos pode ser conseguida através de processos convencionais (Mendes, et al., 2004).

### 6.2.9 Pesticidas

Os pesticidas são substâncias químicas, naturais ou sintéticas, usadas em culturas agrícolas com o objectivo de controlar ou eliminar pragas. Dos pesticidas mais usuais, salientam-se os insecticidas, fungicidas e os herbicidas (Mendes, et al., 2004).

Quando detectado em águas brutas, representa um problema, pois são de difícil remoção, os tratamentos convencionais são ineficazes. Apenas o uso de azoto, na sua oxidação, é eficiente, mas só em alguns derivados clorados. A solução mais eficaz passa pela adsorção em carvão activado, podendo atingir eficiências de cerca de 90% de remoção (Richter, et al., 1991).

### 6.2.10 Oxidabilidade

A oxidabilidade traduz o teor de compostos de natureza orgânica e inorgânica de uma água, passíveis de serem oxidados. É um parâmetro indicativo para a necessidade de inserir no tratamento a etapa de pré-oxidação (Mendes, et al., 2004).

A eliminação de compostos oxidáveis pode ser feita recorrendo-se à sequência de etapas, coagulação/floculação e filtração. Deste modo, os compostos orgânicos ligados às partículas em suspensão são eliminados, bem como as partículas oxidáveis dissolvidas (Mendes, et al., 2004).

Se a água apresentar elevados valores de oxidabilidade e que estejam relacionados com teores elevados de nutrientes, no sistema de tratamento pode ocorrer o tratamento por ozono ou dióxido de cloro. A aplicação do ozono pode ser feita na pré-oxidação, ou imediatamente a jusante da filtração ou a montante da filtração em carvão activado (Almeida, 2005).

A remoção obtida é de 80 a 95%, dependendo da concentração inicial de compostos (Richter, et al., 1991).

### 6.2.11 Matéria orgânica

A presença de matéria orgânica numa água é avaliada por parâmetros como a carência bioquímica de oxigénio (CBO), carbono orgânico total (COT), oxigénio dissolvido (OD) ou, pela carência química de oxigénio (CQO), que permite também avaliar a matéria inorgânica presente numa massa de água.

A CQO traduz o teor em matéria orgânica e inorgânica passível de ser oxidada por via química (Mendes, et al., 2004).

A CBO, sendo a CBO<sub>5</sub> o parâmetro mais usual, traduz o teor de matéria orgânica biodegradável em cinco (5) dias, presente na água (Mendes, et al., 2004).



A relação entre estes dois parâmetros ( $\text{CBO}_5/\text{CQO}$ ) permite avaliar o tipo de poluição existente numa água, pois retrata a relação entre a matéria orgânica biodegradável e a matéria orgânica e inorgânica presente na água (EPA, 2001).

O COT é um parâmetro complementar das duas carências de oxigénio acima referidas, sendo o que melhor avalia o teor de matéria orgânica contida numa água (EPA, 2001).

O OD é um parâmetro de avaliação da qualidade da água, pela contaminação por matéria orgânica. Caso a água não esteja poluída por matéria orgânica, deve conter elevado valor de OD, se contaminada o teor é baixo, indicando decomposição da matéria orgânica presente pela acção das bactérias (EPA, 2001).

Este parâmetro tem uma relação inversamente proporcional com a temperatura, isto é, quanto mais alta a temperatura de uma água, menor OD estará presente nessa massa de água (EPA, 2001).

A remoção da matéria orgânica pode ser conseguida em sistemas de tratamentos convencionais, em sistemas de tratamento primário.

### 6.3 PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

A presença de microrganismos numa água, tem grande significado na sua qualidade. Alguns desses organismos, como bactérias, vírus e protozoários, são patogénicos, e por isso perigosos à saúde humana.

Neste sentido, para a avaliação microbiológica da água recorre-se a indicadores da presença de matéria fecal no meio, que pode ter tanto origem animal como humana (EPA, 2001).

Os coliformes (totais) são bactérias *Gram-negativas*, com forma de bacilos não esporulados, aeróbias ou anaeróbicas facultativas, com capacidade de fermentar a lactose a  $37^\circ\text{C}$ , num espaço de 48 horas, produzindo ácido e gás. Como bactérias deste grupo estão as do género *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* e *Aerobacter* (Mendes, et al., 2004).

Os coliformes fecais englobam as bactérias do grupo coliforme, que num período inferior a 24 horas e a uma temperatura de  $44^\circ\text{C}$ , provoca a fermentação da lactose, produzindo ácido e gás (Mendes, et al., 2004).

Para tratamento dos parâmetros microbiológicos recorre-se ao processo de desinfecção, que pode ser realizado com cloro, dióxido de cloro, ozono, ou radiação UV (Mendes, et al., 2004).



## 7 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

### 7.1 OPERAÇÕES E PROCESSOS UNITÁRIOS

A produção de água para consumo humano a partir de fontes naturais, necessita da remoção de inúmeros contaminantes presentes (matéria orgânica, substâncias húmicas, poluentes tóxicos).

Deste modo, este capítulo pretende descrever de forma sucinta as principais operações e processos unitários utilizados no tratamento de águas. Entendendo-se por operações unitárias, tratamentos físicos e, por processos unitários tratamentos químicos.

O encadeamento destas operações e processos dá origem a sistemas de tratamento de água. Os sistemas de tratamentos de água são projectados consoante a qualidade da água bruta, critérios de qualidade de água para consumo, necessidades da população, entre outros factores.

#### 7.1.1 Pré – oxidação

O processo de pré-oxidação é usado, normalmente, na eliminação de componentes minerais, cor, sabor e cheiro, turbidez e sólidos suspensos. Esta etapa degrada parcialmente a matéria orgânica e inactiva os microrganismos presentes na massa de água, permitindo aumentar a eficiência das etapas de coagulação/floculação e decantação (Camel, et al., 1998).

Os reagentes mais usados na oxidação são o cloro, o dióxido de cloro e o ozono. São também utilizados, mas em menor expressão, as cloraminas, o permanganato de potássio, o peróxido de hidrogénio e, a radiação UV (Praus, 2003).

Dos reagentes citados, o mais usual é o cloro, no entanto, o seu uso acarreta certos problemas, nomeadamente, a produção de sub-produtos, através da reacção de cloro livre com matéria orgânica natural (NOM) presentes na água, como os THM e outros compostos halogenados, prejudiciais à saúde humana. O cloro tanto pode ser introduzido na água sob a forma de gás ou, como hipoclorido de sódio ou cálcio. (Kim, et al., 2002 e Praus, 2003).

O dióxido de cloro é um oxidante e desinfectante mais eficaz que o cloro. Ao contrário do cloro, não causa sabor à água para consumo, nem produz THM. No entanto, a sua utilização leva à formação de clorito e clorato como produtos finais. A dosagem deste agente químico não pode exceder 1,4 mg/L de forma a limitar a formação de produtos finais a um valor máximo de 1 mg/L. O dióxido de cloro, devido à sua capacidade oxidante, oxida o ferro e o magnésio, presente nas águas, reduzindo-se a cloreto de ferro e de magnésio, respectivamente (Praus, 2003).

O ozono é um forte oxidante, sendo uma boa alternativa ao uso de cloro. Pode ser usado como desinfectante, oxidante de ferro e manganês e, para controlo de sabor, odor e cheiro (Siddiqui, et al., 1997). No entanto, se a água tiver iões brometo, pode ser prejudicial, pois este é oxidado a bromo e leva à formação de THM de bromo e, outros compostos de bromo prejudiciais à saúde (Praus, 2003).

### 7.1.2 Coagulação

A coagulação é um processo que tem como objectivo a destabilização de partículas coloidais ( $10^{-3}\mu\text{m}$  a  $1\mu\text{m}$ ) não sedimentáveis, de natureza essencialmente hidrófoba e, normalmente, de carga eléctrica negativa, de modo a aumentar a capacidade de agregação entre as partículas, ou seja, o processo de coagulação tem com objectivo reduzir as repulsões entre partículas, aumentando a probabilidade de agregação das mesmas, formando partículas de maiores dimensões, denominadas por flocos (Matilainen, et al., 2010).

A coagulação, no tratamento de água, é utilizado com vista a remoção de matéria particulada (como por exemplo, partículas de sílica, bactérias, oocistos de protozoários patogénicos) e espécies dissolvidas (como por exemplo, NOM, ferro, manganês) que são adsorvidas à matéria particulada presente nas águas e, também a diminuição da turbidez e cor da água bruta (Matilainen, et al., 2010 e Vieira, 2009).

Contudo, as condições óptimas de remoção de turvação e de cor, nem sempre são as mesmas para a remoção da matéria orgânica e, deste modo a optimização das condições de coagulação são feitas tanto para a maximização da remoção da turvação como da NOM. As condições de coagulação são optimizadas para a remoção de turvação, considerando que a optimização da coagulação refere-se à optimização da dose de coagulante e pH, especialmente para a redução da matéria orgânica. Assim o reforço ou aumento da coagulação refere-se ao uso de excesso de coagulante, (Matilainen, et al., 2010).

A coagulação química é conseguida através da adição de agentes coagulantes inorgânicos, como sais de alumínio e sais de ferro. Quando adicionados à água, os sais de alumínio e de ferro,  $\text{Al (III)}$  e  $\text{Fe (III)}$ , respectivamente, são dissociados nos seus respectivos iões trivalentes,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ . São depois hidrolisados e formando-se em complexos solúveis de carga positiva, sendo depois adsorvidos à superfície dos colóides, que têm carga negativa. De acordo com literatura, o pH mínimo da gama, habitualmente, usada na coagulação, é o pH ao qual ocorre a hidrólise do coagulante, incluindo-se nesta gama o pH de solubilidade mínima dos produtos de hidrólise. O pH óptimo corresponde ao valor que maximiza a desestabilização e a agregação de partículas e de NOM e, que minimiza a dose de coagulante e o seu residual na água tratada. Se o coagulante for um sal de ferro, o seu pH de

coagulação é superior a 5, sendo o pH de solubilidade mínima entre 6 a 8, se o coagulante for um sal de alumínio, o seu pH de coagulação está entre os 5,8 e 7,2, sendo o pH de solubilidade mínima de 6,3, a temperaturas de 25°C (Matilainen, *et al.*, 2010 e Vieira, 2009).

Outro factor a ter em conta, no processo de coagulação, é a alcalinidade da água. A hidrólise do coagulante consome espécies que conferem alcalinidade à água e, se estas não existirem naturalmente na água a tratar, terão que ser adicionadas antes do coagulante (por exemplo sob a forma de cal ou carbonato de cálcio) ou em simultâneo (usando por exemplo policloreto de alumínio e /ou ferro), de modo a se atingir o máximo da coagulação. Se for utilizada uma dose de coagulante superior à alcalinidade disponível na água, nem todo o coagulante reage, originando elevados residuais na água tratada e eventualmente problemas de precipitação na fase final de ajuste do pH (AWWA, 2000, citado por Vieira, 2009) sendo, por isso, importante controlar a alcalinidade no processo de coagulação, tendo em consideração a estequiometria de que cada mg/L de sulfato de alumínio consome 0,5 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  e, por cada mg/L de cloreto férrico são consumidos 0,93  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  de alcalinidade (Vieira, 2009).

Como referido, a eficiência da coagulação depende de vários factores, como da dose de coagulante, da água a tratar, temperatura, pH, alcalinidade da água, tipo de coagulante usado e do tipo de floco pretendido a obter na floculação. A dose óptima a usar é a referente à destabilização máxima, ou seja, corresponde à dose necessária para neutralizar todas as cargas das partículas coloidais para que se liguem aos sítios activos das partículas. Caso a concentração doseada seja inferior à optima, nem todas as partículas são destabilizadas. Contudo, uma sobredosagem de coagulante, pode também ser prejudicial ao processo, podendo originar uma re-estabilização das partículas, perdendo-se eficiência no processo (Vieira, 2009).

Existem quatro mecanismos de destabilização das partículas. A destabilização pode ser conseguida por adsorção com neutralização de carga, ou seja, provoca a diminuição do potencial Zeta (zona de separação das duas camadas energéticas à volta da partícula, rígida e difusa), potencial que mede as forças de repulsão entre partículas, diminuindo assim a repulsão entre elas, verificando-se uma coagulação máxima; por arrastamento de partículas por formação de precipitados volumosos e floculentos, por formação de pontes químicas que resultam na agregação de partículas coloidais em flocos de estrutura tridimensional e, por compressão da dupla camada eléctrica, sendo um mecanismo que não é utilizado no tratamento de água (adaptado de Almeida, 2008).

A dispersão do coagulante é feita em mistura rápida, o agente coagulante é dispersado na massa de água de forma rápida e uniforme, sendo por isso necessário exercer uma força de agitação rápida. A

turbulência e o grau de mistura são medidos pelo gradiente de velocidade (G), independente do misturador usado (mecânico ou hidráulico) e, é definido pela equação (1):

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \times \mu}}$$

Onde:

G - gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ );

P- potência útil, W (N.m/s);

V- volume de água (volume útil da câmara de mistura) ( $m^3$ );

$\mu$ - Viscosidade dinâmica da água (N.s/ $m^2$ ).

Os valores de G devem ser superiores a determinados valores mínimos de modo a que ocorra uma coagulação eficiente, uma vez que a velocidade e a frequência de choque entre espécies são proporcionais à turbulência e, por sua vez ao gradiente de velocidade (Vieira, 2009).

Contudo, é necessário ter em conta que os valores de G não devem ser muito elevados, correndo-se o risco, para além dos custos económicos, da destruição dos flocos formados inicialmente.

Assim, as condições óptimas de misturas dependem do G e do tempo de mistura, que é variável consoante as características da água a tratar e do coagulante a usar (Vieira, 2009).

A mistura rápida pode ser feita em dispositivos hidráulicos ou mecânicos. As primeiras Estações de tratamento de água (ETA) não disponham de dispositivos especiais para a mistura do coagulante, eram usados dispositivos hidráulicos para a dispersão do coagulante, como por exemplo, as câmaras com chicanas, cada vez menos utilizadas e, os ressaltos hidráulicos, como o canal Parshall. Com o evoluir dos tempos, apareceram os dispositivos mecânicos, que realiza a mistura por meio de agitadores do tipo turbina, que podem ter fluxo axial, movimento do líquido paralelamente ao eixo do agitador, ou podem ter fluxo radial, movimento do líquido perpendicularmente ao eixo. A potência a aplicar às turbinas depende do volume e da forma da câmara de mistura, da velocidade de rotação e da geometria do impulsor (Richter, *et al.*, 1991).

A Tabela 7.1 apresenta algumas gamas recomendadas por diversos autores, tendo por comparação os parâmetros de processo e os valores recomendados pelos diversos autores. Alguns autores sugerem a verificação individual dos valores óptimos de G e do tempo de retenção (t), havendo outros que definem adicionalmente critérios a verificar pelo Número de Camp (Gxt). Para o caso de misturadores hidráulicos, como o ressalto hidráulico ou o canal Parshall, alguns autores referem o Número de Froude e a altura de queda, como parâmetros de operação que avaliam a qualidade de mistura (Vieira, 2009).

TABELA 7.1-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da coagulação (Adaptado de Vieira, 2009)

| Parâmetro de processo                          | Valores recomendados na bibliografia  | Referências   |
|--|---|---|
| Dose de coagulante                             | Dose óptima determinada em laboratório (jar test) e verificado depois à escala real   | -   |
| pH da água a coagular                          | 5,8 – 7,2 (coagulante: sal de alumínio; objectivo: remoção de turvação)<br>6 -8 (coagulante: sal de ferro; objectivo: remoção de turvação)<br>5 (coagulante: sal de alumínio; objectivo: remoção de NOM)<br>4,5 (coagulante: sal de ferro; objectivo: remoção de NOM) | Degrémont, 1989; Droste, 1997; AWWA,1999; Gebbie, 2005. |
| Alcalinidade da água a coagular                | 1 mg/L de sulfato de alumínio adicionado consome 0,5 mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$<br>1mg/L de cloreto férrico adicionado consome 0,93 mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$  | AWWA, 2000  |
| Gradiente de velocidade, G ( $\text{s}^{-1}$ ) | 400 – 1000  | Degrémont, 1989   |
|  | 600-1000  | ASCE, 1990  |
|  | 1000  | WRc, 1997   |
|  | 500-2000 (misturadores mecânicos)   | MDE, 2000   |
|  | 300-600 (misturadores mecânicos)  | Twort <i>et al.</i> , 2000                              |
|  | 700-1000 (misturadores mecânicos)   | Vargas, 2004  |
|  | 1000 (misturadores hidráulicos)   | MDE, 2000   |
|  | 800-1000 (misturadores hidráulicos)   | Twort <i>et al.</i> , 2000                              |
|  | 3000-5000 (misturadores em linha; coagulação por adsorção/neutralização de cargas)  | Vargas, 2004  |
|  | 3000- 7000 (coagulação por adsorção/neutralização por cargas)   | Di Bernado e Dantas, 2005                               |
| Tempo de mistura, t (s)                        | 500- 1200 (arrastamento de partículas por precipitado)  | Di Bernado e Dantas, 2005                               |
|  | 300-800 (polímeros orgânicos)   | Vargas, 2004  |
|  | 1   | WRc, 1997   |
|  | 20-30 (misturadores mecânicos)  | Twort <i>et al.</i> , 2000                              |
|  | 2-3 (misturadores hidráulicos)  | Twort <i>et al.</i> , 2000                              |
|  | <5 (coagulação por adsorção/neutralização de cargas)  | Di Bernado e Dantas, 2005                               |
|  | <60 (arrastamento de partículas por precipitado)  | Di Bernado e Dantas, 2005                               |
| Nº de Camp                                     | 1000-2000   | ASCE,1990   |
|  | 500-1600  | Kawamura,2000   |
| Altura de queda (m)                            | 0,2-0,3   | WRc, 1997   |
|  | 0,3-0,4   | Twort e tal., 2000                                      |
|  | 0,1-0,15  | WHO, 2001   |
| Nº de Froude                                   | 4,5-9,0 (ideal); 1,7-2,5 (aceitavel)  | Richter e Netto, 1991; MDE,2000                         |

A Tabela 7.2 apresenta alguns dos coagulantes usados para a formação de flocos, bem como a dose tipicamente usada e o custo, consoante a qualidade da água bruta.

TABELA 7.2-Doses típicas de coagulantes (Fonte: Stephenson, 1998)

| Químico             | Qualidade da água Bruta | Dose Típica | Custo                           |
|---------------------|-------------------------|-------------|---------------------------------|
| Sulfato de Alumínio | Com turbidez; pH 5,5-8  | 25 mg/L     | Médio                           |
| Sulfato de Ferro    | pH 4-8                  | -           | Menor que o sulfato de alumínio |
| Cal                 | Águas duras             | 50 mg/L     | Baixo                           |

### 7.1.3 Floculação

A floculação é materializada na operação de mistura lenta, a qual favorece as colisões entre partículas. O objectivo da floculação é permitir que as partículas previamente destabilizadas, se agreguem e formem flocos de dimensões e densidade adequadas à sua separação gravítica.

Para que a operação de floculação ocorra é necessário também fornecer energia, que tal como na coagulação, é avaliada pelo gradiente de velocidade  $G$  (equação (1)). Esta energia deve ser suficiente de modo a possibilitar o contacto entre as partículas destabilizadas e que permita o crescimento dos flocos, garantindo simultaneamente condições adequadas para que não haja separação gravítica no floculador.

Como as colisões aumentam com o aumento da energia fornecida à água, a velocidade inicial de crescimento do floco é proporcional ao gradiente de velocidade, ou seja, o crescimento dos flocos pode ser acelerado com o aumento do  $G$ . Contudo, o  $G$  não deve exceder um valor máximo a partir do qual pode levar à ruptura do floco já formado, condição desfavorável à operação que se situa a jusante, a decantação. Assim, o gradiente deve encontrar-se numa determinada gama de modo a que se tenha um bom desempenho nesta etapa de tratamento (Vieira, 2009).

Existem vários tipos de equipamentos de floculação, os mecânicos, sendo os mais usuais, os de movimento giratório com paletas paralelas ou perpendiculares ao eixo, que pode ser vertical ou horizontal e, os hidráulicos, que utilizam a energia hidráulica dissipada em forma de perda de carga no fluxo de água, os dispositivos deste tipo constam de um canal com diversos compartimentos em série, interligados por passagens ou tubulações ou, então de um canal sinuoso onde a água é obrigada a passar ao redor de chicanas (Richter, et al., 1991).

Nos floculadores que possuem vários compartimentos, o gradiente  $G$  deve diminuir faseadamente, tendo valor superior na primeira câmara e menor na última, favorecendo deste modo o crescimento inicial de flocos nas primeiras câmaras e, evitando a ruptura dos flocos já com maior dimensão, nas últimas (Kawamura, 2000, citado por Vieira, 2009).



Outro parâmetro a ter em conta é o tempo de retenção, que determina o tempo durante o qual as partículas estão sujeitas ao gradiente de velocidade. Além do já referido  $G$  e do tempo de retenção, conforme o dispositivo a usar, mais parâmetros de operação se tem de ter em conta.

A Tabela 7.3 apresenta os intervalos óptimos, relativamente ao parâmetro de gradiente de velocidade e do tempo de retenção, de acordo com vários autores, essenciais para que se consiga obter o máximo de floculação.

**TABELA 7.3-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da floculação (Adaptado de Vieira, 2009)**

| Parâmetros de Processo   | Valores recomendados pela bibliografia            | Referências   |
|--|---|---|
| <b>Gradiente de Velocidade, <math>G</math> (<math>s^{-1}</math>)</b> | 20-100  | WRc, 1997   |
|  | 100   | Degrémont, 1989   |
|  | 20-100  | Twort et al., 2000  |
|  | 20-70   | ASCE, 1990; Swartz, 2000; Vargas, 2004                      |
|  | 10-60 (decantação a jusante)                      | ASCE, 1990; Droste, 1997                                    |
|  | 30-70 (decantação a jusante)                      | Twort et al., 2000  |
|  | 20-75 (filtração directa)                         | ASCE, 1990  |
|  | 100 (filtração directa)                           | Twort et al., 2000  |
|  | 50-70 (DAF a jusante)                             | Twort et al., 2000  |
|  | 10-70 (misturadores mecânicos)                    | Richter e Netto, 1991; MDE, 2000; Di Bernado e Dantas, 2005 |
|  | 10-50 (misturadores mecânicos eixo vertical)      | Kawamura, 2000  |
|  | 10-70 (misturadores mecânicos de eixo horizontal) | Kawamura, 2000  |
|  | 10-100 (misturadores hidráulicos)                 | Sanks, 1978   |
|  | 10-50 (misturadores hidráulicos)                  | Kawamura, 2000  |
|  | 20-70 (misturadores hidráulicos)                  | MDE, 2000   |
|  | 10-50 (misturadores hidráulicos)                  | Di Bernado e Dantas, 2005                                   |
| <b>Tempo de mistura, <math>t</math> (min)</b>                        | 10-30   | ASCE, 1990; Swartz, 2000; Vargas, 2004                      |
|  | 15-45   | Droste, 1997  |
|  | 10-40   | WRc, 1998; Twort et al., 2000                               |
|  | 18-25 (decantação a jusante)                      | ASCE, 1990  |
|  | 20-40 (decantação a jusante)                      | Twort et al., 2000  |
|  | 15-25 (filtração directa)                         | ASCE, 1990  |
|  | 10 (filtração directa)                            | Twort et al., 2000  |
|  | 15-20 (DAF a jusante)                             | Twort et al., 2000  |
|  | 30-40 (misturadores mecânicos)                    | Richter e Netto, 1991                                       |
|  | 30-40 (misturadores mecânicos eixo vertical)      | Kawamura, 2000  |
|  | 20-40 (misturadores mecânicos eixo horizontal)    | Kawamura, 2000  |
|  | 20-60 (misturadores mecânicos)                    | Di Bernado e Gantas, 2005                                   |
|  | 30-45 (misturadores hidráulicos)                  | Kawamura, 2000  |
|  | 20-30 (misturadores hidráulicos)                  | MDE, 2000   |
|  | 20-40 (misturadores mecânicos)                    | MDE, 2000   |
|  | 5-30 (misturadores hidráulicos)                   | Di Bernado e Gantas, 2005                                   |

Segundo Richter, *et al.*, 1991, o processo de floculação pode ser designado por pericinética, quando o movimento das partículas é causado pelo movimento browniano e, por ortocinética, quando o movimento é causado por gradientes de velocidade ou por agitadores mecânicos.

#### 7.1.4 Decantação

A decantação é uma operação que se baseia nas forças gravitacionais para a separação das partículas de densidade superior à água (partículas floculadas ou não), sendo depositadas numa zona ou área de armazenamento.

A decantação ou sedimentação é uma operação que tem como objectivo a clarificação da água, pela remoção de matéria em suspensão na água por sedimentação dos flocos presentes na água, floculada ou não. Um bom desempenho nas etapas de coagulação/floculação, é essencial para um bom desempenho da decantação. Esta etapa permite um melhor desempenho na etapa posterior, a filtração.

A eficiência da separação sólido-líquido depende do tipo e concentração de partículas existentes na massa de água, considerando-se assim quatro tipos de decantação, que são: decantação de partículas discretas, decantação floculenta, decantação retardada e decantação por compressão. Na Tabela 7.4 apresenta-se uma pequena descrição dos quatro tipos de decantação referidos.

TABELA 7.4-Diferentes tipos de decantação (Adaptado de (ALMEIDA, 2008A))

| Tipo de Decantação                   | Descrição   |
|--------------------------------------|---|
| <b>Partículas Discretas (tipo 1)</b> | Sedimentação de partículas em suspensão de pequena concentração em sólidos. As partículas decantam individualmente não havendo interacção significativa entre partículas vizinhas. A velocidade de decantação das partículas é independente da concentração.  |
| <b>Floculenta (tipo 2)</b>           | As partículas de uma suspensão relativamente diluída coalescem ou floculam durante a sedimentação. Por coalescência, há um aumento de massa das partículas e consequentemente aumento da velocidade de decantação.  |
| <b>Retardada (tipo 3)</b>            | Ocorre em suspensões de concentração intermédia onde as forças entre partículas são suficientes para retardar a decantação de partículas vizinhas. As partículas mantêm uma posição relativamente constante e a massa das partículas decanta como um todo, criando uma interface sólido-líquido no topo da massa em processo de decantação. |
| <b>Compressão (tipo 4)</b>           | As partículas existem em concentração tal que se cria uma estrutura, ocorrendo decantação apenas por compressão dessa estrutura. Esta compressão ocorre devido ao peso de partículas que são constantemente adicionadas à estrutura devido à sedimentação que tem lugar no líquido sobrenadante.  |

Num decantador convencional de fluxo horizontal e num decantador lamelar predomina a decantação tipo 1 e tipo 2, nos clarificadores de manto de lamas (combinam as etapas de floculação e decantação num único órgão) predomina a de tipo 3 e, a de tipo 4 predomina nas camadas profundas dos decantadores convencionais, lamelares e nos clarificadores de manto de lamas (Almeida, 2008a e Vieira, 2009).

Na decantação os parâmetros operacionais a ter em conta para uma boa eficiência do processo são o tempo de retenção (h) e a carga hidráulica superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ). A carga hidráulica traduz a relação entre o caudal afluyente e a área de decantação disponível, estando relacionada com a velocidade de separação das partículas. Considerando-se que as partículas cuja velocidade seja superior à carga hidráulica, ficam retidas no decantador (Vieira, 2009).

Existem vários tipos de decantadores, cuja classificação é feita consoante diversos critérios, como o formato em planta, o regime de laboração, a direcção de escoamento e, o sistema de remoção de lamas.

Os decantadores podem ser classificados em estáticos e dinâmicos ou combinados, ocorrendo, neste ultimo, ambas as etapas de floculação e decantação, como por exemplo os clarificadores de manto de lamas.

Quanto à configuração em planta, os decantadores podem ser rectangulares, quadrados ou circulares. Nos de planta rectangular o afluyente é admitido numa extremidade do tanque, por um sistema de distribuição, protegido por um deflector, reduzindo assim a energia da água à chegada e uniformizando o fluxo, sendo o escoamento em toda a extensão do tanque na direcção da extremidade oposta. Nos decantadores de planta circular, a entrada do afluyente é feita pelo fundo do decantador, onde o escoamento dirige-se radialmente para o sistema de descarga na margem do tanque, ocorrendo a sedimentação das partículas ao longo deste percurso.

Quanto à direcção do escoamento, os decantadores podem ser de fluxo horizontal ou vertical. Nos decantadores de fluxo horizontal, a água entra numa extremidade e dirige-se para a extremidade oposta, movendo-se longitudinalmente. Nos decantadores de fluxo vertical, a água é dirigida para a parte inferior, elevando-se a seguir em movimento ascendente até à superfície dos tanques, sendo por isso, tanques com elevadas profundidades.

A Tabela 7.5 resume as gamas de valores óptimos recomendados na bibliografia para os parâmetros de operação usualmente utilizados no dimensionamento de decantadores convencionais.

TABELA 7.5-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da decantação convencional (Adaptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros de processo   | Valores recomendados na bibliografia   | Referências                                    |
|--|--|--|
| <b>Turvação depois da decantação (NTU)</b>                       | <2   | Twort et al., 2000                             |
|  | Máximo <5  | AWWA, 2001                                     |
|  | Média <2   | Wrc, 1997                                      |
|  | Média <1   | Lipp e Baldauf, 2000; AWWA, 2001               |
| <b>Carga Hidráulica, ch (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h)</b>      | <3   | Droste, 1997                                   |
|  | 0,62-1,25  | MDE, 2000                                      |
|  | 0,8-2,5  | Kawamura, 2000                                 |
|  | <1   | Swartz, 2000                                   |
|  | <1 para água coagulada   | Wrc, 1997                                      |
|  | <3,3 (amaciamento de água com baixo teor de Mg)                                  | Sanks, 1978                                    |
|  | <2,7 (amaciamento da água com alto teor de Mg)                                   | Sanks, 1978                                    |
| <b>Taxa de descarga por metro de caleira (m<sup>3</sup>/m.h)</b> | <2 (coagulação com sulfato de alumínio)  | Sanks, 1978                                    |
|  | 5-10   | ASCE, 1990                                     |
|  | <7   | Wrc, 1997                                      |
|  | <12,5  | Twort et al., 2000                             |
|  | <6,25  | Swartz, 2000                                   |
|  | <11  | Kawamura, 2000; AWWA, 2003                     |
| <b>Tempo de retenção (h)</b>                                     | <7,5 (flocos leves de sulfato de alumínio)                                       | AWWA, 2003                                     |
|  | 2-6  | Sanks, 1978                                    |
|  | >4   | ASCE, 1990                                     |
|  | 2-4  | MDE, 2000                                      |
|  | 1,5-4  | Kawamura,2000; Swartz,2000; Twort et al., 2000 |
| <b>Intervalo de purga de lamas (h)</b>                           | 4  | AWWA, 2003                                     |
|  | 0,5-1  | ASCE, 1990                                     |
| <b>Carga de sólidos (kg/m<sup>2</sup>.d)</b>                     | <10,3 (decantadores rectangulares com ch <0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h) | Sanks, 1978; ASCE, 1990                        |
|  | <6,1 (decantadores circulares com ch <0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h)     | Sanks, 1978; ASCE, 1990                        |

### 7.1.5 Filtração

A filtração é a etapa na qual se pretende remover as partículas em suspensão de pequena dimensão que não foram removidas pela decantação a montante, devido ao tamanho ou densidade semelhante à da água.

A filtração é uma operação unitária que normalmente segue na sequência da decantação, denominando-se assim por filtração convencional. Mas em certos casos, a filtração pode aparecer imediatamente a seguir à etapa de floculação, designando-se por filtração directa, funcionando como

uma operação de remoção de turvação primária e pode ainda surgir logo após à coagulação, denominando-se por filtração em linha.

A filtração permite não só a remoção da turvação, mas também a redução de microrganismos patogénicos. Assim, o bom desempenho da filtração, depende de um valor máximo de turvação. Segundo AWWA, 2001, o valor máximo de turvação após a filtração de 0,1 NTU na água tratada, este valor tem como objectivo evitar a passagem através do filtro de microrganismos patogénicos resistentes à desinfecção (Vieira, 2009).

Quando o tratamento é feito por filtração directa ou em linha, a turvação da água bruta deve ser de 15 e 5 NTU, respectivamente, e uma apresentar uma cor de 50 e 25 U.C, respectivamente.

Além dos tipos de filtração referidos anteriormente, o processo de filtração pode ser também classificado consoante o material filtrante, o sentido do escoamento, o controlo hidráulico e o tipo de filtro.

O material do leito filtrante pode ser composto por areia ou antracite, designando-se por filtros de camada simples ou, por areia e antracite, designando-se por filtros de camada dupla. Os diferentes tipos de materiais e a existência de uma ou duas camadas, são características que afectam a taxa de filtração.

O sentido do escoamento de um filtro pode ser ascendente ou descendente.

O controlo hidráulico dos filtros, está dependente da taxa de filtração, que pode ser constante, com ou sem variação de nível ou, pode ter uma taxa de filtração declinante (Richter, et al., 1991).

Para o funcionamento adequado dos filtros é necessários dois controlos: o de nível de água e de vazão. O controlo do nível de água pode ser feito por meio de uma válvula instalada na canalização de saída de água filtrada e accionada por um dispositivo flutuador ou por um detector de nível, instalado na superfície do filtro. O controlo de vazão pode ser realizado na entrada de água decantada para os filtros e na saída de água filtrada; no primeiro caso são instalados vertedores ou orifícios para que todos os filtros recebam praticamente a mesma vazão de água (Richter, et al., 1991).

A capacidade de retenção de sólidos é também um parâmetro importante e está directamente relacionado com o volume de vazios do leito filtrante. A carga de sólidos no afluente ao filtro é uma medida da massa de sólidos aplicados por unidade de areia do filtro e por unidade de tempo, ou seja, em função da velocidade de filtração e da concentração de sólidos da água a filtrar (Vieira, 2009).

Consoante a taxa de filtração, os filtros podem ser classificados por lentos ou rápidos. Se a taxa de filtração for baixa ( $0,29$  a  $0,58 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ) classifica-se em filtração lenta, se for elevada ( $5$  a  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ ) classifica-se em filtração rápida.

Os filtros lentos são mais eficazes e de mais fácil utilização, que os rápidos. Estes tipos de filtros permitem uma larga redução da contaminação por bactérias e vírus, e na remoção de contaminantes biológicos, tal como *Giardia*, *Amoebae*, *Cryptosporium*, etc. O uso destes filtros implica que a água a tratar não apresente valores de turvação muito elevados nem de sólidos totais (SST). Os valores comuns, de turbidez e de SST, são de  $50 \text{ NTU}$  e  $50 \text{ mg/L}$ , respectivamente. Se a água a filtrar apresentar elevados valores de turbidez e de SST é preferível que esta passe por um pré-tratamento com coagulação e/ou floculação, antes da filtração (Gadgil, 1998).

Ao contrário dos filtros rápidos, os filtros lentos, não necessitam de lavagens, mas sim de limpeza. Devido às baixas velocidades de filtração e à menor granulometria da areia do leito, faz com que os sólidos e os microrganismos removidos fiquem retidos à superfície do leito filtrante, formando uma fina camada biologicamente activa, designada por “smutzdecke”. A formação desta camada leva alguns dias a estabilizar, estando dependente da temperatura, o conteúdo em oxigénio e os nutrientes da água a tratar (Gadgil, 1998).

Os filtros lentos além de conseguirem elevada remoção de turvação e microrganismos patogénicos, são de tecnologia simples, de baixo custo e de fácil manutenção, contudo são equipamentos que requerem elevadas áreas de implantação (Gadgil, 1998).

O bom funcionamento destes filtros requer que a altura de água sobre a areia seja constante e que a velocidade à saída do filtro seja regulada.

Os filtros rápidos reduzem em larga escala microrganismos e sólidos suspensos da água. No início a eficiência do filtro não é total, melhorando com o decorrer da operação, até ao ponto do leito filtrante começar a colmatar, diminuindo a velocidade de filtração e aumentando o nível de água por cima do filtro, sendo depois necessário que entre em lavagem, para recuperar novamente a eficiência total (Gadgil, 1998).

Estes filtros por si só não garantem a qualidade microbiológica da água, mas podem preparar a água para sofrer processos de desinfecção por U.V, cloro ou ozono. Segundo Gadgil, 1998, os filtros rápidos removem cerca de  $50\%$  da turbidez e  $90\%$  dos SST, presentes em águas provenientes de rios.

Ao contrário dos filtros lentos, o controlo de velocidade e de nível de água nos filtros rápidos é feito automaticamente e não manualmente, sendo feito por sistemas automatizados.

A qualidade da água filtrada, depende principalmente de factores inerentes ao próprio filtro e devem ser periodicamente observados e monitorizados. Os aspectos mais importantes a ter em conta são (Santana, et al., 1998):

- Controlo da velocidade de filtração e da cor da água filtrada;
- Determinação do tempo de lavagem óptimo, para evitar o desperdício de água tratada. O tempo de lavagem mínimo corresponde ao momento em que a turvação da água de lavagem é inferior a 10 NTU.

A eficiência do processo está dependente de determinados parâmetros, tais como a velocidade de filtração, a perda de carga, a duração do ciclo de filtração, o caudal de entrada no filtro, a turvação da água bruta e, a cor da água filtrada. Os três primeiros parâmetros estão todos relacionados entre si.

O aumento da velocidade de filtração leva a uma mais rápida a colmatção do filtro, pois há maior entrada de sólidos no filtro diminuindo o tamanho efectivo dos poros do leito, originando uma maior resistência à passagem do fluxo, atingindo-se rapidamente o valor máximo da perda de carga, o que implica uma menor duração da filtração. Se os sólidos que vão ficando retidos no filtro não forem retirados, por lavagem do filtro, acabam por ser arrastados na água filtrada, verificando-se posteriormente turvação na água tratada (Vieira, 2009).

Como referido, o filtro necessita de entrar em lavagem/limpeza quando a perda de carga atinge o limite máximo e quando a água tratada atinge o máximo de turvação possível. A limpeza dos filtros lentos é feita manualmente, através de uma raspagem da película formada à superfície do leito filtrante. A areia que é removida, é lavada e guardada para uma posterior utilização, pois com a raspagem, a espessura do leito diminui, sendo necessário refazer a espessura inicial. No caso dos filtros rápidos, a lavagem é automática, podendo ser feita por inversão de corrente com água filtrada ou com água e ar comprimido, dependendo do tipo de filtro.

O número de filtros não deverá ser igual à unidade, para evitar interrupções de funcionamento durante a lavagem/limpeza, por isso, no mínimo os sistemas devem ter dois filtros. Apesar de o número mínimo ser dois filtros, para que a lavagem não interrompa o funcionamento, implica que cada filtro tenha de ser igual à área total necessária. No entanto, Almeida, 2005, refere que o número mínimo de filtros deve ser três, verificando-se assim uma redução em 25% da área total necessária de filtração.

A Tabela 7.6 e a Tabela 7.7 apresentam os valores óptimos, recomendados pela bibliografia, dos diversos parâmetros utilizados no dimensionamento de filtros rápidos e lentos, respectivamente.

TABELA 7.6-Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração rápida (Adaptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros de processo                                      | Valores recomendados na bibliografia    | Referências                                      |
|---|---|--|
| Turvação da água filtrada (NTU)                             | Máximo <0,1                             | AWWA, 2001; Kawamura, 2000; Lipp e Baldauf, 2000 |
|   | Máximo <0,4                             | Twort et al., 2000                               |
|   | Máximo <0,5                             | AWWA, 2003; Spellman, 2003                       |
| Velocidade de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h) | 5-20                                    | Degrémont, 1999                                  |
|   | 4-20 (usualmente <10 em água coagulada) | Wrc, 1997  |
|   | 5-25                                    | AWWA, 1999                                       |
|   | 6                                       | AWWA, 2003                                       |
|   | 6-7,5                                   | Twort et al., 2000                               |
|   | 15-18                                   | Twort et al., 2000                               |
|   | 7,5- 10                                 | Twort et al., 2000                               |
|   | 5 (monocamada)                          | AWWA, 2001                                       |
|   | <5 (monocamada de areia fina)           | MDE, 2000  |
|   | 5-7,5 (monocamada de areia)             | Kawamura, 2000                                   |
|   | 4-6 (monocamada de areia)               | Twort et al., 2000                               |
|   | 10-20 (multicamada)                     | AWWA, 2001                                       |
|   | <12,5 (multicamada de antracite-areia)  | MDE, 2000  |
| Perda de carga no leito (m)                                 | 6-12 (multicamada antracite-areia)      | Twort et al., 2000                               |
|   | <0,3 no início da filtração             | Twort et al., 2000                               |
|   | 1,2-2,5 no fim da filtração             | ASCE, 1990                                       |
|   | 1,8-2 no fim da filtração               | Twort et al., 2000                               |
|   | 2,4-2,5 no fim da filtração             | AWWA, 2003                                       |
| Carga de sólidos (kg/m <sup>2</sup> .d)                     | 1,8-2,4 no fim da filtração             | Spellman, 2003                                   |
|   | 550-5500                                | Twort et al., 2000                               |
| Duração do ciclo de filtração (h)                           | 12-36                                   | Sanks, 1978; AWWA, 2003                          |
|   | 12-72                                   | ASCE, 1990; Droste, 1997; Spellman, 2003         |
|   | 12-96                                   | AWWA, 1999                                       |
|   | >24                                     | Kawamura, 2000                                   |
|   | 12-60                                   | Twort et al., 2000                               |
| <b>Lavagem de ar seguido de água</b>                        |   |  |
| Velocidade de lavagem com ar (m/h)                          | 55-90                                   | ASCE, 1990                                       |
|   | 20-40                                   | Wrc, 1997  |
|   | 23-27                                   | Twort et al., 2000                               |
|   | 46-55                                   | Kawamura, 2000                                   |
|   | 37-55 (monocamada de areia)             | AWWA,1999  |
|   | 55-73 (multicamada antracite-areia)     | AWWA,1999  |



FIGURA 7.6 (CONT.)- Gama s óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração rápida (Adoptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros de processo                                  | Valores recomendados na bibliografia  | Referências                    |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Lavagem ar + água em simultâneo</b>                  |                                       |                                |
| <b>Velocidade de lavagem com ar (m/h) (continuação)</b> | 70-90                                 | AWWA,1999                      |
|   | 10-30                                 | Wrc, 1997                      |
|   | 50-90                                 | AWWA,1999                      |
| <b>Lavagem só com água</b>                              |                                       |                                |
| <b>Velocidade de lavagem com água (m/h)</b>             | 9-60 (monocamada de areia)            | Wrc, 1997                      |
|   | 7-35 (monocamada de antracite)        | Wrc, 1997                      |
|   | 37-45 (monocamada de areia)           | Kawamura, 2000                 |
|   | 45-55 (multicamada)                   | Kawamura, 2000                 |
|   | <b>Lavagem de ar seguido de água</b>  |                                |
|   | 44-67                                 | ASCE,1990                      |
|   | 37-49 (multicamada)                   | AWWA, 1999                     |
|   | 15-37 (monocamada de areia)           | AWWA, 1999                     |
|   | 20-30                                 | Kawamura, 2000                 |
|   | <b>Lavagem ar+água em simultâneo</b>  |                                |
| <b>Duração da lavagem com ar (min)</b>                  | 15-30 monocamada de areia)            | AWWA, 1999                     |
|   | 20-24 (monocamda de antracite)        | AWWA, 1999                     |
|   | 15-20                                 | Twort et al., 2000             |
|   | 5-10                                  | Kawamura, 2000                 |
|   | <b>Lavagem com ar seguido de água</b> |                                |
|   | 3-5                                   | Sanks, 1978                    |
|   | <5                                    | Wrc, 1997                      |
|   | 4-5                                   | Kawamura, 2000                 |
|   | 4-3                                   | Twort et al., 2000             |
|   | <b>Lavagem ar+água em simultâneo</b>  |                                |
| <b>Duração da lavagem com água (min)</b>                | 1-2 (fase ar)                         | AWWA, 1999; Twort et al., 2000 |
|   | 10 (fase ar+água)                     | AWWA, 1999                     |
|   | 6-8 (fase ar+água)                    | Twort et al., 2000             |
|   | 5-15                                  | AWWA, 2003                     |
|   | <b>Lavagem com ar seguido de água</b> |                                |
|   | 10-15                                 | Kawamura, 2000                 |
|   | 4-6                                   | Twort et al., 2000             |
|   | <b>Lavagem ar+água em simultâneo</b>  |                                |
|   | 5-10                                  | ASCE, 1990                     |
|   | 6-8                                   | Twort et al., 2000             |
|   | 5-10                                  | ASCE, 1990                     |

TABELA 7.6 (CONT.)- Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração rápida (Adoptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros do processo                                   | Valores recomendados pela bibliografia              | Referências                     |
|--|---|---------------------------------|
| Expansão do leito na lavagem (%)                         | 15  | Degrémont, 1999                 |
|  | 10-20   | Wrc, 1997                       |
|  | 15-30   | AWWA, 1999                      |
|  | 20-25   | EPA, 1999                       |
|  | 20  | Swartz, 2000                    |
|  | 20-30   | Spellman, 2003                  |
|  | 15-30   | Twort et al., 2000              |
|  | 20 (areia)  | Sanks, 1978; Nix e Taylor, 2003 |
|  | 25 (antracite)                                      | Sanks, 1978; Nix e Taylor, 2003 |
| Quantidade de água de lavagem gasta bum ciclo de lavagem | 1-25% do volume de água filtrada                    | Degrémont, 1999                 |
|  | 1-5% do volume de água filtrada                     | Droste, 1997                    |
|  | <3% do volume de água filtrada                      | MDE, 2000                       |
|  | <2% do volume de água filtrada                      | Twort et al., 2000              |
|  | 3-7% do volume de água filtrada                     | Spellman, 2003                  |
|  | 2,5%-3% do volume de água filtrada                  | Kawamura, 2000                  |
|  | 2-4% do volume de água filtrada (filtro monocamada) | AWWA, 2003                      |
|  | <6% do volume de água filtrada (filtro multicamada) | AWWA, 2003                      |
| Altura do leito (m)                                      | 0,7-2   | Wrc, 1997                       |
|  | 0,6-0,9   | MDE, 2000                       |
|  | 0,6-0,75  | AWWA, 2003                      |
|  | 1-1,2 (monocamada de areia)                         | Swartz, 2000                    |
|  | 0,7-1 (monocamada)                                  | Twort et al., 2000              |
|  | 0,6-0,9 (multicamada)                               | AWWA, 1999                      |

TABELA 7.7- Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração Lenta (Adaptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros de processo                                      | Valores recomendados na bibliografia | Referências                   |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|
| Turvação da água filtrada (NTU)                             | Máximo <0,1                          | Lipp e Baldauf, 2000          |
|   | <1                                   | Twort et al., 2000            |
| Velocidade de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h) | 2-5                                  | Degrémont, 1999               |
|   | <1                                   | Wrc, 1997                     |
|   | 0,07-0,4                             | AWWA, 1999                    |
|   | 0,1-0,3                              | MDE, 2000; Twort et al., 2000 |
|   | 0,1-0,4                              | Kawamura, 2000                |
|   | 0,1-0,2                              | Swartz, 2000                  |
|   | 0,1                                  | AWWA, 1999                    |
| Tempo de recuperação após limpeza (d)                       | 3-5                                  | Wrc, 1997                     |
|   | 5                                    | Kawamura, 2000                |

TABELA 7.7 (CONT.) – Gamas óptimas recomendadas na bibliografia para parâmetros de operação da filtração Lenta (Adaptado de Vieira, 2009)

| Parâmetros de processo            | Valores recomendados pela bibliografia | Referências              |
|-----------------------------------|--|--------------------------|
| Perda de carga no leito (m)       | 0,6-0,9 no fim da filtração            | Twort et al., 2000       |
|                                   | 0,06 no início da filtração            | AWWA, 2003               |
|                                   | 1-2 no fim da filtração                | AWWA, 2003               |
|                                   | 1,2-1,5 no fim da filtração            | Spellman, 2003           |
| Duração do ciclo de filtração (d) | 30 (em média)                          | Degrémont, 1999          |
|                                   | 20-60                                  | Droste, 1997; AWWA, 2003 |
|                                   | 30-360                                 | AWWA, 1999               |
| Altura do leito (m)               | 1-1,2                                  | ASCE, 1990               |
|                                   | 0,8-1                                  | MDE, 2000                |
|                                   | 0,6-1,2                                | Kawamura, 2000           |
|                                   | 0,6-1,25                               | Twort et al., 2000       |
|                                   | 1                                      | AWWA, 2003               |
|                                   | 0,5-1,5 (início); 0,4-0,5 (mínimo)     | AWWA, 1999               |

#### 7.1.6 Desinfecção

A desinfecção de uma água tem como objectivo a destruição ou inactivação de microrganismos patogénicos presentes na água. Este processo pode ser realizado por recurso a agentes químicos ou físicos (Stephenson, 1998). Os agentes químicos mais usuais são o cloro e compostos de cloro (como hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio), o ozono, o dióxido de carbono, cloraminas. Relativamente ao agente físico, o mais usual é a UV.

A escolha do método ou agente deve ser feita tendo em conta diversos factores, como (Stephenson, 1998):

- A natureza e número de organismos a serem destruídos;
- O tipo e concentração de desinfectante a usar;
- A temperatura da água a desinfectar - quanto mais alta, mais rápida a desinfecção;
- O tempo de contacto – a desinfecção é mais eficaz, quanto mais tempo estiver o desinfectante em contacto com a água a tratar;
- A natureza da água a desinfectar – se a água a tratar contiver matéria orgânica, nomeadamente, partículas coloidais e NOM, o processo de desinfecção é dificultado;
- O pH da água;
- Mistura - uma boa mistura facilita a dispersão do desinfectante, facilitando assim a desinfecção.

Além dos factores acima referidos, a escolha do desinfectante a utilizar no tratamento de água para consumo humano é também muito importante, pois além deste ter que eliminar os microrganismos presentes na água, tem também que garantir que do processo não resultem produtos prejudiciais à saúde humana. Assim, o desinfectante a utilizar, deve verificar as seguintes condições:

- Ser tóxico, em baixas concentrações, para os microrganismos;
- Não ser tóxico para os seres humanos e animais;
- Ser solúvel em água;
- Ser eficaz às temperaturas normais da água de consumo (0 a 25°C);
- Ser estável, permitindo a manutenção de concentrações residuais durante longos períodos de tempo;
- Não reagir com outra matéria orgânica que não seja a dos microrganismos;
- Não ser agressivo para metais e tecidos;
- Existir em grandes quantidades e a um preço acessível;
- Ser fácil de manipular;
- Permitir um controlo fácil das suas concentrações;
- Assegurar a inactivação de 99,9% de cistos de *Giardia Lambia* e de 99,9% de vírus;
- Minimizar a formação de subprodutos indesejáveis;
- Eliminar cheiros.

Os desinfectantes utilizados para a remoção de agentes patogénicos, funcionam também como oxidantes da água. Além, de serem usados como oxidantes, são também utilizados para melhorar a eficiência da coagulação e filtração; para prevenir o crescimento de algas nos decantadores e filtros e; para uma prevenção a nível biológico no sistema de abastecimento de água (Golfinopoulos, et al., 2005).

Todos os agentes químicos, cloro, ozono, cloraminas, dióxido de cloro, quando adicionados à água produzem subprodutos, através de reacções com brometo e precursores orgânicos (Francis, et al., 2009). Os subprodutos mais comuns são os THM, haloacetónitros, haloacetonas, clorohidratos, cloropirina e ácidos haloacéticos, sendo os THM os mais identificados (Golfinopoulos, et al., 2005).

Dos desinfectantes anteriormente referidos, o mais utilizado é o cloro, pois tem um baixo custo (Suslow, 2001), de fácil aplicação, determinação e controlo e, permite manter residuais que garantem a qualidade bacteriológica da água tratada ao longo do sistema de abastecimento.

Segundo Santana, *et al.*, 1998, a desinfecção por cloro deve ter em conta os seguintes aspectos:

- A verificação periódica do pH e da temperatura da água, uma vez que o efeito germicida, tanto do cloro residual livre como do cloro combinado, diminui com o aumento destes dois parâmetros. Verifica-se que, para valores de pH de 8 a 10, são necessárias doses de cloro bastante mais elevadas, para se obter a mesma eficiência;
- A determinação da carência de cloro na água, de forma a evitar residuais de cloro superiores aos necessários. O ideal é que na torneira do consumidor, o valor de cloro seja da ordem de 0,2mg/L.

Apesar, do cloro ser o desinfectante mais utilizado, o ozono têm também a sua importância demarcada. É um desinfectante muito poderoso, mais que o cloro, que actua na eliminação de bactérias, vírus e alguns tipos de algas e também em alguns pesticidas e outros compostos químicos. Uma das principais vantagens, em relação ao cloro, é a não formação de THM, quando na presença de elevadas quantidades de matéria orgânica. Contudo, o uso de ozono apresenta a desvantagem, de ser instável e não permanecer como residual no sistema de distribuição, sendo por isso, necessário aplicar um outro agente desinfectante para garantir a qualidade microbiológica da água em qualquer ponto do sistema de distribuição.

Na Tabela 7.8 estão descritas as vantagens e desvantagens dos principais desinfectantes químicos, o cloro, as cloraminas, o dióxido de cloro e o ozono.

TABELA 7.8- Vantagens e desvantagens dos principais desinfectantes químicos (Adaptado de Almeida, 2009)

| Desinfectante | Vantagens   | Desvantagens   |
|---------------|---|--|
| <b>Cloro</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxida ferro solúvel, manganês e sulfuretos;</li> <li>• Bom no aumento de remoção de cor, sabor e cheiro;</li> <li>• É um germicida eficaz;</li> <li>• É económico e simples de usar;</li> <li>• É o método mais económico e utilizado correntemente;</li> <li>• É de fácil utilização;</li> <li>• Disponível em hipoclorito de sódio e de cálcio – vantajoso em instalações de pequena dimensão, sendo de fácil utilização e necessita de menos equipamentos que o cloro gás;</li> <li>• Assegura a presença de residual.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode levar a problemas de sabor e cheiro na água tratada, dependendo da qualidade da água e da dosagem;</li> <li>• Forma compostos halogenados;</li> <li>• Normalmente os hipocloritos são mais dispendiosos que o cloro gás;</li> <li>• O cloro gás é perigoso e corrosivo;</li> <li>• O hipoclorito de sódio é corrosivo e, degrada-se com o tempo e exposição solar;</li> <li>• É menos eficaz em pH elevado.</li> </ul> |

TABELA 7.8 (CONT.)- Vantagens e desvantagens dos principais desinfectantes químicos

| Desinfectante           | Vantagens   | Desvantagens   |
|-------------------------|---|--|
| <b>Cloraminas</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos reactivas com compostos orgânicos do que o cloro na formação de subprodutos da desinfecção;</li> <li>• O residual de monocloramina é mais estável e de maior duração do que o de cloro livre ou de dióxido de cloro;</li> <li>• Economicamente acessíveis e fáceis de produzir.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As propriedades de desinfectante não são tão fortes como as do cloro, ozono e dióxido de cloro;</li> <li>• Não oxidam o ferro, manganês e sulfuretos;</li> <li>• Necessidade periódica de utilização de cloro livre por forma a controlar o crescimento de biofilmes no sistema de distribuição.</li> </ul> |
| <b>Dióxido de Cloro</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais eficaz que o cloro e cloraminas na inactivação de vírus;</li> <li>• Oxida ferro, manganês e sulfuretos;</li> <li>• Não forma subprodutos como o cloro;</li> <li>• Fácil de produção;</li> <li>• Assegura residual.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Origina subprodutos específicos: clorito e clorato;</li> <li>• Tem custo elevado (cerca de cinco vezes superior ao do cloro);</li> <li>• O gás do dióxido de cloro é explosivo, tem de ser gerado no local;</li> <li>• Decompõe-se com a luz.</li> </ul>  |
| <b>Ozono</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais eficaz que os restantes desinfectantes;</li> <li>• Oxida o ferro, manganês e sulfuretos;</li> <li>• Controla a cor, sabor e cheiro;</li> <li>• Necessita de tempos de contacto curtos;</li> <li>• A actividade germicida não é influenciada pelo pH.</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de subprodutos;</li> <li>• Custo elevado;</li> <li>• Requer muita energia;</li> <li>• Muito corrosivo e tóxico;</li> <li>• Não garante residual.</li> </ul>  |

Em alternativa aos agentes químicos, pode-se recorrer aos físicos. A UV é um dos processos mais utilizados. Este processo baseia-se na exposição da água a uma lâmpada com um comprimento de onda aproximadamente de 250 nm. Este comprimento de onda é responsável pela destruição do DNA de bactérias e vírus. Contudo, este processo tem como desvantagem ser apenas eficiente em águas de baixa turbidez, requerendo, por isso, de um processo de filtração em águas de pouca qualidade (Hindiyyed, et al., 2010). Este método de desinfecção apresenta outras desvantagens, tais como não garantir a qualidade de água durante o sistema de distribuição e, uma vez que não permanece com acção residual, não é aconselhável o seu uso em águas com elevado teor de ferro, cálcio e de fenóis.

Apesar das desvantagens apresentadas, é um processo que também apresenta algumas vantagens na sua utilização, tal como não proporcionar problemas com cheiros ou sabores desagradáveis; necessitar de pequenos tempos de residência, o que faz com que não seja necessária grande área de implementação; elimina a necessidade de transporte, armazenamento e manipulação de produtos perigosos e, a desactivação microbiana não está dependente nem do pH nem da temperatura da água.

Em alternativa à UV, tem sido proposto por alguns autores, a desinfecção solar (SODIS – Solar Water Desinfection), sendo um processo simples e de fácil utilização. A desinfecção solar tem sido recomendado, por diversos investigadores, para países que tenham bastante exposição solar.

O processo de desinfecção SODIS é um processo simples que usa a radiação solar para desactivar e destrói os microrganismos patogénicos, é um processo foto-oxidativo. Contudo, a eficiência do tratamento está dependente de vários factores, como o tempo, clima e turbidez da água.

A desinfecção solar é um tratamento útil para pequenas quantidades de água a nível doméstico.

A cor e material do recipiente onde será colocada a água para tratamento, são dois parâmetros importantes para o resultado final da desinfecção. Os recipientes devem ser de plástico ou vidro, pois estes materiais conseguem transmitir a luz numa região perto da ultravioleta, que é a radiação mais eficaz na destruição de organismos patogénicos. Relativamente à cor, os recipientes devem ser incolores ou azuis, pois são as que permitem uma maior transmissão de luz e, por sua vez uma maior destruição de organismos. Outro factor importante para a eficiência do tratamento é a forma do recipiente, estudos mostram que as formas cilíndricas ou cónicas são as que mostram resultados mais satisfatórios, tanto em relação à exposição solar como no tempo requerido para a desinfecção (Hindiyyed, *et al.*, 2010 e Ubomba-Jaswa, *et al.*, 2009).

#### 7.1.7 Dessalinização

A dessalinização é um processo que permite remover sais e outros materiais provenientes da água do mar ou salobra. As principais tecnologias de dessalinização em uso são os processos térmicos (destilação) ou processos de separação por membrana. Este tipo de tecnologias consomem muita energia, sendo uma desvantagem do seu uso, tornando-se um processo de elevado custo, que depende do local de implementação – os custos de fuel e de electricidade variam conforme o país de implementação, bem como o custo de mão-de-obra. Por esta razão a co-geração proporciona uma oportunidade significativa de uso e eficiência no processo.

O processo de destilação é um processo em que a água é aquecida e vaporizada; o vapor é condensado, tendo baixo valor em sólidos dissolvidos, enquanto há produção de salmoura, que é tratada como produto residual. Os sais inorgânicos de alto peso molecular não são voláteis e por isso facilmente separáveis, contudo, podem existir produtos voláteis derivados do petróleo, devido a alguma contaminação ou derrame.

Os dois processos de destilação mais utilizados são o *multistage flash distillation* (MSF) e o *multiple effect distillation* (MED). Ambos os processos podem ser usados em água do mar ou salobra, sendo no entanto mais usados em sistemas de tratamento de água do mar. Além, destas duas tecnologias

são também usadas a compressão de vapor, congelamento, humidificação/desumidificação e destilação solar (WHO, 2007a).

Relativamente aos processos por membrana, em que a separação de sais minerais da água a tratar é feita usando membranas semi-permeáveis. As duas tecnologias mais utilizadas são a osmose inversa e a electrodialise e, também a destilação por membrana (WHO, 2007a), existindo ainda a microfiltração, ultrafiltração e a nanofiltração.

Os processos de separação por membrana, utilizam a pressão hidráulica como força motriz para separar a água dos contaminantes, através de membranas semipermeáveis. Dentro dos processos existentes destacam-se a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa (WHO, 2007a). A Figura 7.1 representa, esquematicamente, as características dos diferentes processos de separação por membrana referidos.

Segundo Khawajia, *et al.*, 2008, as tecnologias mais importantes são as baseadas nos processos de MSF e de osmose inversa.

Os sistemas de MSF são os que têm uma maior capacidade de destilação. O seu princípio de funcionamento está no aquecimento da água que irá entrar em ebulição rapidamente (flash) quando a pressão de vapor é rapidamente reduzida abaixo da pressão de vapor do líquido a essa temperatura. O vapor gerado é condensado em superfícies que estão em contacto com a água de alimentação, aquecendo-a antes da sua introdução na câmara. Esta fase irá permitir que a maioria do calor de vaporização seja recuperado (WHO, 2007a).

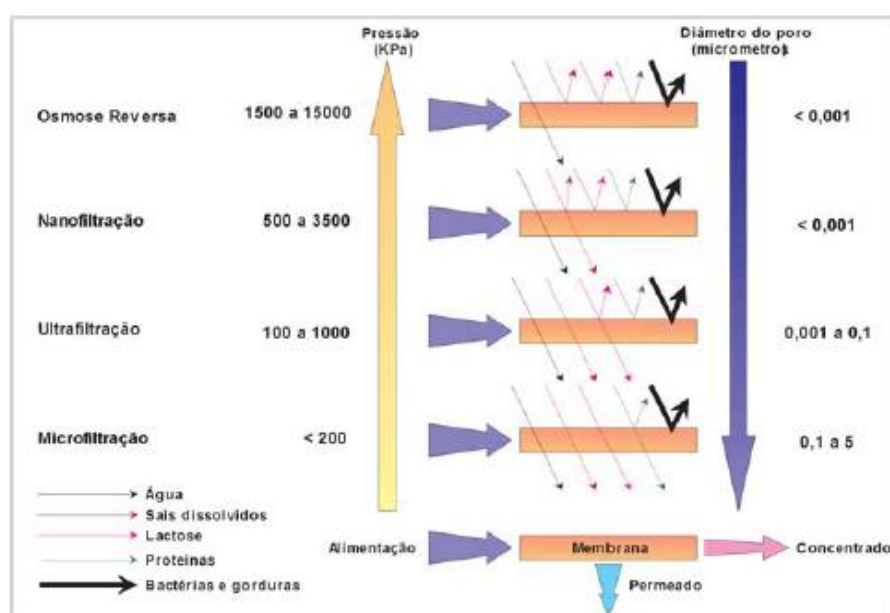


FIGURA 7.1- Características dos processos de separação por membranas (Fonte: Mierzwa, et al., 2008)



O sistema de osmose inversa é um processo que inverte o processo natural de transporte de solventes através de uma membrana semi-permeável, de uma região de menor concentração para uma mais concentrada em solutos, de modo a equalizar a energia livre.

A osmose inversa é um processo físico, em que é aplicada uma pressão exterior, sempre superior à pressão osmótica natural da água a ser tratada, por sistemas de bombagem, alimentando assim um conjunto de membranas semi-permeáveis, que separam os compostos iónicos, orgânicos e impurezas em suspensão da água, tratando-se de um processo contínuo.

O princípio é que estas membranas permitam a separação dos contaminantes presentes na água a tratar, obtendo-se uma água potável. A pressão aplicada faz com que a região mais concentrada migre através da membrana, deixando o soluto (sais e outros não permeáveis) em maior concentração, salmoura, ficando uma água limpa de sais. O aumento de pressão aumenta a taxa de permeação, contudo, aumenta também os depósitos sólidos (WHO, 2007a). Deste modo, há produção de caudal de água permeado, livre de sais, e de caudal de água rejeitado, concentrado de sais. Estes dois caudais são os que determinam a recuperação do sistema, que oscila entre os 50 e 75%.

Este tipo de processo permite uma eliminação de 95 a 99,8% dos sais solúveis e 99,9% de bactérias e vírus, conseguindo-se obter uma água potável através de águas marinhas e salobras.

A implementação de processos de dessalinização pode também ser feita em pequena escala, em situações que o caudal de água tratada seja de 4000 m<sup>3</sup>/d ou menos. Na maioria dos casos as tecnologias de tratamento são similares aos sistemas de dessalinização em grande escala. Os sistemas em pequena escala podem ser classificados por várias categorias dependendo da tecnologia a usar; podem ser classificados quanto à sua mobilidade e tipo de serviço. Tal como nos sistemas em grande escala, podem ser divididos em processos térmicos ou de membrana. Os sistemas podem depois ser divididos em unidades móveis ou estacionárias, relativamente à mobilidade e, quando ao tipo de serviço podem ser de serviço num único ponto ou em múltiplos pontos (WHO, 2007a).

A utilização de membranas necessita por norma de um pré-tratamento. A água de alimentação das membranas deve ser previamente tratada, através da remoção de contaminantes e de controlo de crescimento de microbiano na membrana, facilitando assim a operação das membranas. Além do pré-tratamento, também é necessário um pós-tratamento, pois, a água após passar pelas membranas fica desmineralizada, ou seja, sem minerais. Apesar da água não ser fonte de sais para a alimentação humana, existe um equilíbrio mineral entre a água potável e os benefícios de saúde. O pós-tratamento consiste então à estabilização da água pela adição de cal ou outros químicos, muitos

sistemas optam pela junção de uma porção de água desmineralizada com água que não passou pelo processo de membranas, contudo, quando a água é água do mar ou com características muito idênticas, é usual usar apenas 1% de água não desmineralizada, devido ao sabor contribuído pelos sais. Além, da re-mineralização, é também feito um ajustamento do pH, através de uma recarbonatização. Uma pós-desinfecção é também necessária, pois o processo por separação por membranas não permite a eliminação e controlo de microrganismos patogénicos (WHO, 2007a).

## 7.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PASSÍVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO

Dada a qualidade da água bruta e face ao objectivo proposto neste trabalho, os sistemas passíveis de utilização passam por linhas simples e economicamente viáveis (custos reduzidos), dada a situação vivida nos países em desenvolvimento e, nomeadamente em Moçambique.

Como referido no capítulo 7.1, a sequência de diferentes processos e operações unitárias, possibilitam a materialização de sistemas de tratamento de água com maior ou menor complexidade em função da qualidade de água bruta e dos objectivos de qualidade a atingir. Uma vez que o trabalho é focalizado nos países ou comunidades com carência de abastecimento de água, principalmente devido a carências económicas, não faz sentido analisar sistemas de tratamento com tecnologias inovadoras, que apesar de serem, possivelmente, mais eficientes que os sistemas convencionais, acarretam consigo custo que não podem ser suportados por países economicamente mais carenciados.

Almeida, 2005, considera oito sistemas de tratamento (ST) convencionais, os quais constituem sequências de operações e processos unitários utilizados correntemente no tratamento de águas para consumo humano, que se encontram apresentados na Figura 7.2.

Dado o objectivo principal do trabalho, permitir que populações que vivam em zonas de escassez de água com qualidade tenham acesso a uma fonte de água potável para uso doméstico, os sistemas para estas condições têm de ser bastante simples, contemplando apenas as operações e processos essenciais ao tratamento da água, tendo em conta a sua qualidade, sem contemplar tecnologias, que apesar de serem cada vez mais usadas nos países desenvolvidos, nesta situação não faz qualquer lógica a sua utilização, uma vez que se tornariam economicamente inviáveis.

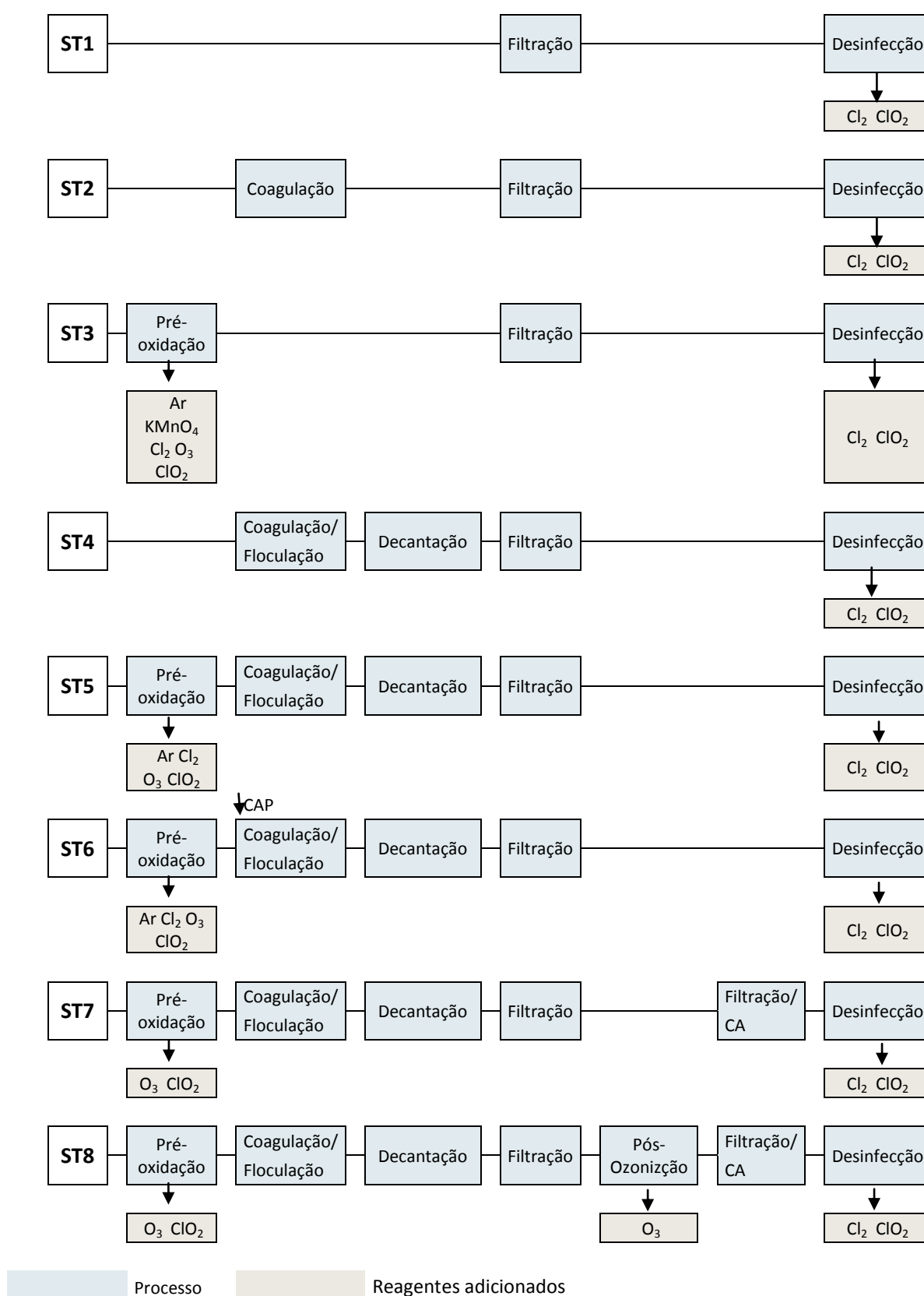


FIGURA 7.2-Sistemas de tratamento de água convencionais (Adoptado de almeida, 2005)

Dos sistemas propostos por Almeida, 2005, considerando-se que apenas os sistemas do tipo ST2 e ST4 são viáveis para o presente estudo. Tendo em consideração a qualidade da água bruta (Tabela 5.5), o sistema de tratamento deve prever apenas operações e processos unitários que permitam a remoção de turvação e garantam a qualidade microbiológica da água, sendo por isso necessário as etapas de coagulação e floculação, decantação e filtração e, posterior desinfecção. Nos dados disponíveis referentes à qualidade da água, como já referido, não há qualquer informação relacionada com sólidos suspensos totais, nem matéria orgânica ou organismos patogénicos, mas os sistemas a dimensionar terão que contemplar esses parâmetros, pois a presença destes parâmetros devem ser constantes em águas.

De acordo com a Tabela 5.5, os parâmetros analisados e a tratar são a turvação, os cloretos, os nitratos, nitritos e, o amoníaco. Tendo como base a informação contida no capítulo 7.1, os processos e operações para os sistemas de tratamento de água com as características da água estudada, devem contemplar as operações e processos referidos na Tabela 7.9.

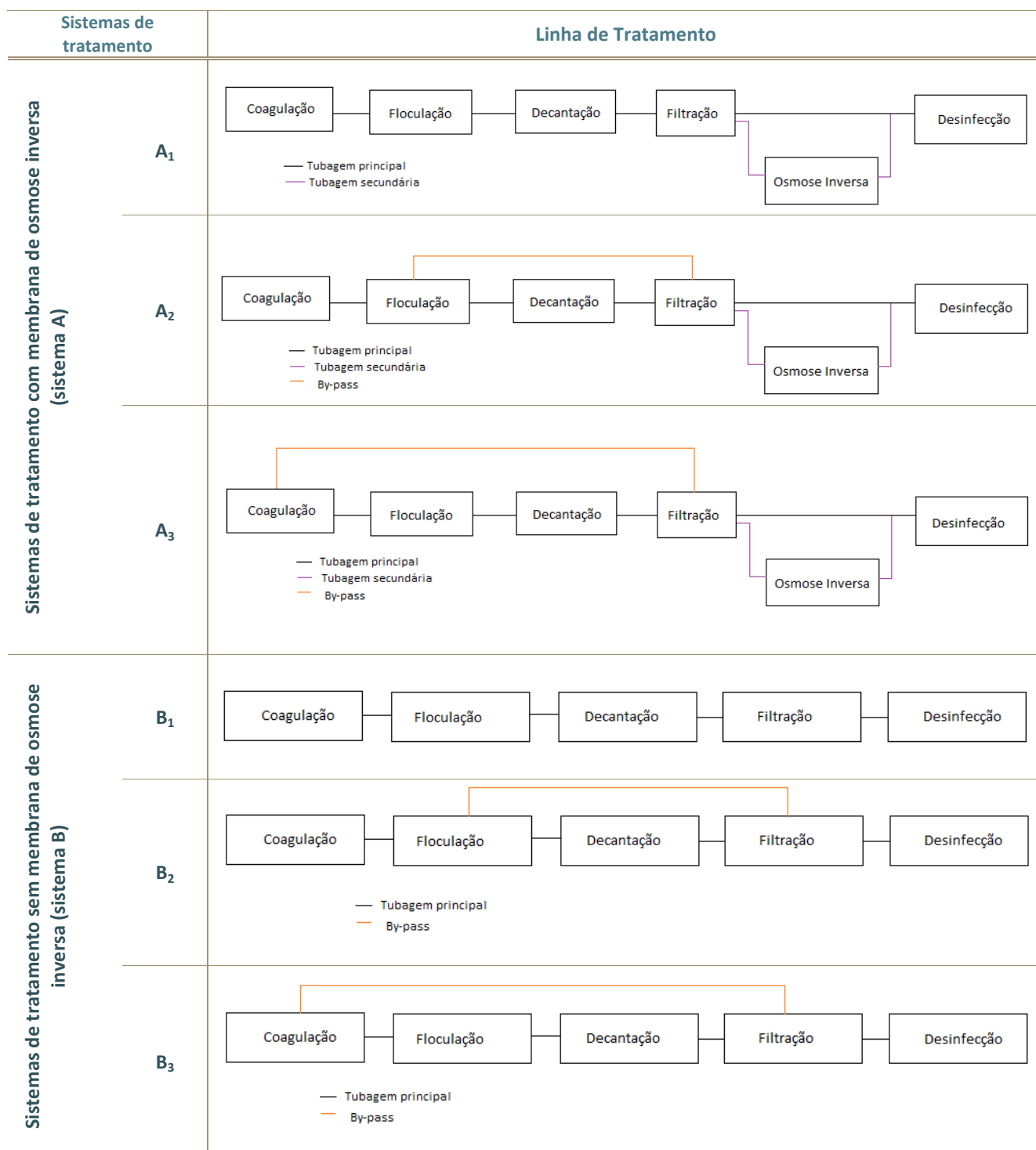
**TABELA 7.9-Parâmetros analisados e processos e operações unitários correspondentes**

| <b>Parâmetros</b>                 | <b>Processos e Operações unitárias</b>                          |
|-----------------------------------|---|
| <b>Turvação</b>                   | Coagulação/floculação, decantação e filtração                   |
| <b>Cloretos</b>                   | Osmose Inversa  |
| <b>Dureza Total</b>               | Precipitação química, Nanofiltração ou Osmose Inversa           |
| <b>Nitratos</b>                   | Osmose Inversa  |
| <b>Nitritos</b>                   | Oxidação com cloro/ozono  |
| <b>Amoníaco</b>                   | Filtração (filtro de areia) e carvão activado em pó             |
| <b>Matéria Orgânica</b>           | Sistemas de tratamento convencionais                            |
| <b>Microrganismos patogénicos</b> | Desinfecção (por cloro, ozono, dióxido de cloro ou radiação UV) |

De seguida, são apresentadas na Tabela 7.10 seis hipóteses de sistemas de tratamento, para a água com as características apresentadas. Os sistemas de tratamento estão divididos em sistemas de tratamento com membranas de osmose inversa (sistema A), sistemas mais complexos e, em sistemas de tratamento sem membranas de osmose inversa (sistema B), sistemas mais simples. Cada sistema (A e B) é subdividido em três alternativas de funcionamento.

O sistema A<sub>1</sub> tem na sua linha de tratamento as etapas de coagulação, floculação e decantação, a anteceder a filtração, pois e, apesar dos valores de turvação não ultrapassarem os 50 NTU, que segundo Gadgil, 1998, é o valor acima do qual é aconselhável que a água a tratar seja sujeita a um pré-tratamento com coagulação e/ou floculação, consegue-se deste modo assegurar que, caso os valores de turvação sejam mais elevados que o limite indicado, a água seja tratada com eficiência relativamente ao parâmetro de turvação, não correndo o risco que a etapa de filtração não seja eficiente, e que a etapa da desinfecção não seja prejudicada.

TABELA 7.10- Sistemas de tratamento passíveis de utilização



Como os valores de turvação não são muito elevados e, devido à carência económica do local em estudo, a opção de uso de filtros lentos para a etapa de filtração, será a mais indicada. Esta opção será a mais viável, pois como já referido em capítulo anterior, além de apresentar custos mais acessíveis, são de fácil utilização e manutenção e, apresentam elevada eficiência.

Os valores limite de turvação acima apresentados são valores referentes à filtração lenta, que tendo em conta o objectivo deste trabalho, fará todo o propósito, pois são filtros com capacidade de elevada remoção de turvação e microrganismos patogénicos, de tecnologia simples, de baixo custo e de fácil manutenção (Gadgil, 1998). Além que, comparando com os filtros rápidos, os filtros lentos são mais eficazes e, não necessitam de lavagem, a limpeza é manual.

Um dos principais problemas da água analisada é o elevado teor de cloretos e de dureza total. Os cloretos e os iões responsáveis pela dureza total apesar de não representarem problemas para a saúde humana, proporcionam um sabor desagradável na água. A existência na linha de tratamento de um sistema de membranas por osmose inversa permite eliminar esse sabor e permitir a obtenção de uma água tratada que cumpra os limites legislados sobre esses dois parâmetros.

No entanto, quando uma água é sujeita a um tratamento por membranas de osmose inversa, esta fica completamente desmineralizada, o que também é prejudicial, pois apesar da água potável não ser um suplemento de minerais na dieta diária, existe um equilíbrio mineral entre a água potável e os benefícios de saúde. Devido à desmineralização da água, esta é por norma estabilizada pela adição de cal ou outros químicos (WHO, 2007a). A outra hipótese de repor os sais perdidos é repartir o caudal, de modo a que uma percentagem seja tratado pelo processo de membranas, e que depois se vá juntar ao restante caudal que não passou pelo sistema de separação por membranas de osmose inversa. Como o limite máximo de cloretos é de 250 mg/L, irá assumir-se que 1% do caudal não passará pelo processo de separação de membranas.

Dos processos de membranas existentes, como apresentado na Figura 7.1, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa, esta ultima será a opção indicada a usar, pois é a técnica que permite eliminar iões monovalentes, como é o caso dos cloretos.

Este sistema de tratamento é por fim finalizado por uma desinfecção. A água após passar pelas etapas de filtração e osmose inversa, será armazenada num tanque, onde será adicionado o desinfetante. Esta etapa é essencial, pois apesar de nos dados recolhidos não existirem dados referentes à presença de organismos patogénicos, estes são organismos presentes nas fontes de águas. Sendo estes organismos responsáveis por muitas das doenças existentes pela falta de água potável, a desinfecção não pode ser excluída da linha de tratamento, de forma a destruir ou inactivar os organismos patogénicos presentes na água.

Os dois sistemas seguintes, o A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> são duas alternativas de funcionamento do sistema A<sub>1</sub>. Como referido, os valores de turvação da água bruta em estudo não apresenta valores muito elevados, podendo-se optar por tratamentos de filtração directa ou de filtração em linha.

Diferindo cada uma delas pelo valor de turvação da água bruta, assim, para a utilização de tratamento de água por um destes dois tratamentos, a água bruta deve apresentar valores de turvação de 15 e 5 NTU, para o uso de filtração directa ou em linha, respectivamente. O parâmetro de cor é também importante para a selecção destes tipos de tratamentos, contudo, nos dados recolhidos não existia qualquer valor alusivo a este parâmetro, devendo a cor ter valores de 50 U.C para filtração directa e, 25 U.C para filtração em linha.

Estes dois sistemas,  $A_2$  e  $A_3$ , são referidos como sistemas de by-pass, pois apesar dos valores de turvação não serem elevados, não há qualquer garantia que sejam sempre assim, além da existência de valores acima dos 15 e 5 NTU, como os limites anunciados. Assim, a possibilidade da existência de by-pass à decantação ou à floculação e decantação, pode ser uma hipótese viável, consoante os valores de turvação que a água bruta apresente na sua captação, podendo ser uma optimização de tempo e económica do tratamento da água, representando assim o  $A_2$  um sistema com filtração directa, com by-pass à decantação e, o  $A_3$  um sistema de filtração em linha, com by-pass à floculação e decantação.

O sistema  $B_1$  representa uma linha de tratamento mais simples. Esta linha contém as mesmas etapas que o  $A_1$ , pelas mesmas razões, com a excepção de membranas de osmose inversa. A ausência de osmose inversa implica que a água a gerar para consumo humano contenha o elevado teor em cloretos e de iões  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , responsáveis pela dureza total. Esta opção além de mais simples é também a economicamente mais viável, contudo existe a noção que o problema dos cloretos e dureza total não será tratado, mas dado que a existência deste dois parâmetros não são prejudiciais à saúde humana e, tendo em conta que a aplicação deste sistemas têm como objectivo serem aplicados em zonas economicamente carenciadas, nomeadamente em países em desenvolvimento e, como a nível de eliminação de sólidos, turvação e de organismos patogénicos, a linha de tratamento garante o seu tratamento, se na mesma não existir osmose inversa, apenas não é garantido um sabor agradável da água.

Os últimos dois sistemas, o  $B_2$  e  $B_3$ , são também duas alternativas de funcionamento do sistema  $B_1$ . Tal, como os sistemas  $A_2$  e  $A_3$ , ambos os sistemas representam sistemas com filtração directa, com by-pass à decantação e sistemas com filtração em linha, com by-pass à floculação e decantação, respectivamente.

### 7.2.1 Reagentes

Tendo em conta as hipóteses de sistemas de tratamento acima referidos, será necessário a utilização de reagentes para que o tratamento seja efectuado com a eficiência pretendida. O seu uso será feito em duas etapas, na coagulação e desinfecção.

Quanto à etapa de coagulação, os sais de alumínio, como já referido, são os coagulantes mais comuns de utilização, mas em alternativa podem ser usados coagulantes naturais, de origem vegetal ou animal. Estes coagulantes eram usados muito antes dos químicos, contudo, devido à falta de conhecimento sobre a sua eficiência e mecanismos de acção, o seu uso foi substituído pelos coagulantes químicos. Contudo, o seu uso voltou novamente a ter interesse substancialmente nos países em desenvolvimento (Ndabigengesere, et al., 1997).

A *Moringa* é uma planta tropical da família da *Moringaceae* e, das 14 espécies identificadas, a *Moringa Oleifera* é a espécie que além de ter grande poder coagulante é a que apresenta um crescimento mais rápido, mesmo em solos pouco húmidos. É vulgarmente conhecida, nos países em desenvolvimento, como um vegetal, uma planta medicinal e, ainda como uma fonte de óleo vegetal (Ndabigengesere, et al., 1994 e Ndabigengesere, et al., 1997).

A árvore de *Moringa Oleifera* é originária do norte da Índia, do Sudão, sendo comum encontra-la em países áridos e de clima tropical, como o caso de África, Ásia e América Latina, cultivando-se facilmente através das suas sementes, sem requerer tratamento. Cada árvore, em condições favoráveis, pode produzir entre 50 a 70Kg de vagens. É caracterizada por ter flores bastante perfumadas de cor branca ou bege, e amarelas na base, o seu fruto é uma vagem composto por grande número de sementes, e as suas folhas são bastante ricas em vitamina A e C, fósforo, cálcio, ferro e proteínas. A Figura 7.3 mostra algumas das partes constituintes da árvore.

Estudo realizados para identificar os agentes coagulantes da *Moringa oleifera*, sugeriram que os componentes activos são péptidos catiónicos, com peso molecular entre os 6 e os 16 kDa. Tendo as sementes de *Moringa oleifera* proteínas solúveis de carga positiva, quando adicionadas à água a tratar, a carga positiva das proteínas atrai as partículas de carga negativa, presentes nas argilas, bactérias e outras partículas tóxicas presentes na água. O processo de coagulação/floculação ocorre então com a ligação das proteínas das sementes com as cargas negativas da água, formando flocos. Estes mesmos estudos, revelaram que o processo de coagulação ocorre ou por mecanismos de adsorção ou de neutralização de cargas (Ndabigengesere, et al., 1994 e Hermes, et al., 2006).



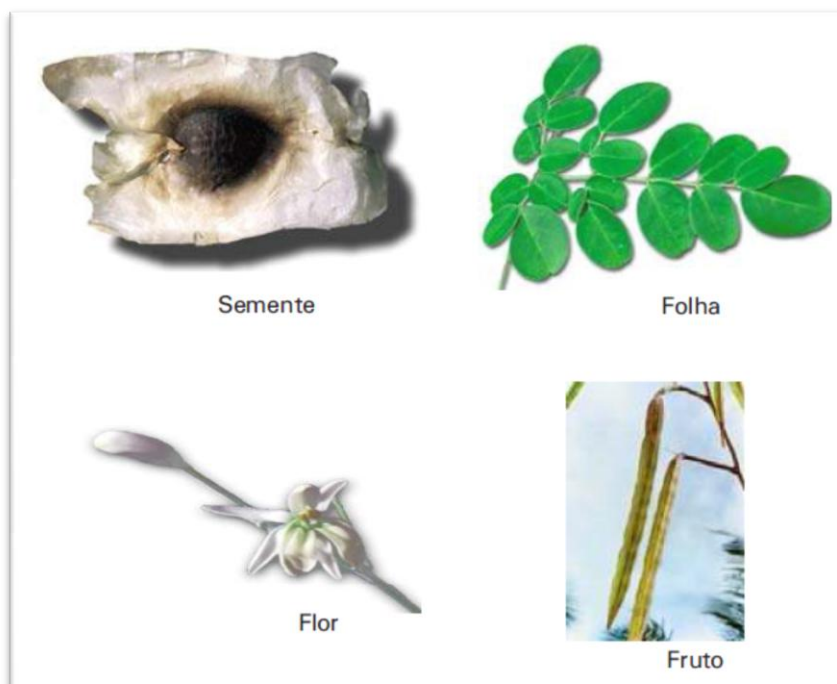


FIGURA 7.3-Partes constituintes da *Moringa oleifera* (semente, folha, flor e fruto)  
(Fonte: Hermes, et al., 2006)

A sua utilização requer uma preparação prévia. Estudos realizados, comparando a utilização de sementes com casca e sem casca, revelaram que se obtém valores de remoção de turvação melhores quando são usadas sementes com casca, isto porque e, segundo os estudos realizados, sugerem que as proteínas activas estão contidas apenas no grão da semente. A média de peso de cada semente seca de *Moringa oleifera* é de 0,23g, representando o grão 70% desse peso e os restantes 30% à película envolvente do grão. Nesse estudo, concluiu-se que a dose de coagulante óptima a usar era dez vezes superior quando se usava sementes sem casca, o que levou a concluir que, parte das proteínas activas foram perdidas pela sua adsorção à película que foi extraída no descascar a semente (Ndabigengesere, et al., 1997).

Deste modo, as sementes são moídas, por um pilão ou triturador, transformando-se em pó. Ao pó é depois adicionada uma pequena quantidade de água potável, formando uma solução leitosa. É esta solução obtida que se adiciona à água bruta (Ndabigengesere, et al., 1997 e Hermes, et al., 2006).

A dose óptima a aplicar, corresponde à que se obtiver menor residual de turvação, sendo também igual quando se usa como coagulante o sulfato de alumínio, ou seja, a quantidade de sementes de *Moringa oleifera* a adicionar depende da qualidade da água bruta, sendo essa quantidade proporcional à turvação da água. A tabela abaixo indica alguns intervalos de quantidade de sementes já preparadas como coagulante, para determinados valores de turvação (Schwarz, 2000).

TABELA 7.11- Doses óptimas de coagulante de sementes de *Moringa oleifera*

| Turvação da água bruta (NTU) | Doses de coagulante (mg/L) |
|------------------------------|----------------------------|
| <50                          | 10-50                      |
| 50-100                       | 30-100                     |
| >150                         | 50-200                     |

No entanto, e segundo a pesquisa desenvolvida pelo cientista Jahn, 1998, as sementes devem ser usadas logo que apanhadas, pois com o tempo perdem a sua eficiência, ou seja, não podem ser usados stock das mesmas (Hermes, et al., 2006).

Nos estudos realizados foi observada uma redução de 80-99,5 % da turvação da água e, paralelamente uma redução de 90-99,9% de bactérias. Estes resultados demonstram a validade do uso de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante, removendo tanto a turvação como microrganismos patogénicos, mas sobre estes não se consegue garantir a remoção em 100%, sendo por isso necessário um tratamento secundário para os microrganismos patogénicos (Hermes, et al., 2006).

Segundo os diversos estudos, o uso de *Moringa oleifera* apresenta vantagens e também desvantagens, comparativamente com o uso de coagulantes de alumínio como (Ndabigengesere, et al., 1994 e Ndabigengesere, et al., 1997 e Schwarz, 2000):

#### VANTAGENS

- Não provoca alteração de pH, condutividade, alcalinidade e concentração de catiões e aniões, com excepção de ortofosfatos e nitratos, na água tratada, em oposição ao uso de alumínio como coagulante;
- Como não provoca alterações no pH nem na alcalinidade, não são necessários ajustamentos destes parametros após a coagulação, nem provoca problemas de corrosão;
- A eficiência do processo não depende do pH da água bruta;
- Não provoca alteração do sabor da água;
- Produzem muito menor volume de lamas, em relação ao uso de alumínio, em cerca de 4 a 5 vezes menos;
- São de baixo custo, o que é bastante favorável para os países em desenvolvimento, pois permite o tratamento de água sem custos exorbitantes.

## DESVANTAGENS

- Provoca um aumento de concentração dos ortofosfatos e nitratos. O aumento da concentração de ortofosfatos na água provoca cheiros, odor e sabor, na água tratada;
- Apesar de conseguir eliminar grande parte de organismos patogénicos, é necessário um tratamento posterior para a eliminação total de organismos, de modo a tornar a água completamente potável;
- O coagulante não pode ser utilizado de forma pura, tem de ser preparado anteriormente.

Além deste conjunto de factores, dos estudos realizados até à data, não foram encontrados dados sobre efeitos secundários prejudiciais à saúde humana pelo uso das sementes de *Moringa oleífera*.

Quanto à etapa de desinfecção, a hipótese mais favorável de desinfectante recai no hipoclorito de sódio (lixívia), pois tendo por base a Tabela 7.8 é o desinfectante mais vantajoso na utilização em instalações de pequena dimensão, como é o presente caso, assegurando residual, é de fácil utilização e de baixo custo, apesar de mais dispendioso que o cloro gás, mas devido às dimensões do projecto em questão, não é viável o uso de cloro gás.

Em alternativa ao uso de desinfectantes químicos e, devido ao objectivo do trabalho a opção da desinfecção passar pelo uso de SODIS, no entanto, este método é eficiente e útil para consumos domésticos de uma família, não para um número de habitantes mais elevado, além da dependência do tempo e condições meteorológicas.

### 7.2.2 Lamas

Num processo de tratamento de água, obtém-se dois produtos, um líquido, a água clarificada e própria para consumo humano e, um sólido, as designadas lamas.

Como referido, o uso de *Moringa oleífera* como coagulante permite obter um volume muito menor de lamas do que quando usado alumínio e, além da quantidade a composição das lamas também é diferente.

No caso do uso de alumínio como coagulante, as lamas são constituídas por precipitados de hidróxido de alumínio, enquanto que, com o uso de *Moringa oleífera*, os flocos sedimentáveis, que constituem a lama, são formados pela aglomeração de partículas suspensas presentes na água, não formando qualquer outro tipo de precipitado.

Além da formação de precipitados com a utilização de alumínio, as suas lamas são ainda gelatinosas e ácidas, difíceis de secar e de deposição. Em oposição, as lamas originadas pela utilização de

*Moringa oleifera*, são compostas por produtos biodegradáveis orgânicos, sendo por isso possível a sua utilização como fertilizante.

Um outro problema relativo às lamas é o seu tratamento e posterior eliminação ou deposição em local apropriado. O custo de tratamento e eliminação das lamas é proporcional ao volume de lamas, o que torna as lamas de *Moringa oleifera* muito mais económicas de tratar, visto o seu volume ser muito menor que as de alumínio.

### 7.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO MÓVEIS

Os sistemas de tratamento de água móveis têm sido sistemas que têm vindo a evoluir e a ganhar grande importância na área de tratamento de água em situações de emergência ou de catástrofe.

A Agência de Desenvolvimento Internacional do Estados Unidos da América (AID), nomeadamente o Departamento de Assistência de Desastres no Exterior (OFDA) e, também a UNICEF são duas entidades que fazem parte desse grupo, possuindo sistemas de tratamento móveis para as suas missões. Os sistemas que estão na posse do OFDA e, também da UNICEF são unidades bastante primárias, contemplando apenas os processos de filtração e de desinfecção por cloro, permitindo a remoção da turvação e a eliminação dos organismos patogénicos, principais precursores de doenças (Holland, et al., 1989).

Os sistemas de tratamentos móveis oferecem um sistema rápido, fiável e de custo efectivo para entender o problema de crise de água. Estes sistemas são instalados num dispositivo móvel (carro, atrelado) com os equipamentos necessários para o tratamento. Como o próprio nome indica, estes sistemas podem ser levados para qualquer local a qualquer hora, promovendo água segura à população.

Ao contrário dos sistemas usados pelas entidades acima referidas, os sistemas móveis mais modernos são constituídos, para além da filtração e desinfecção, por tratamentos químicos e processos de separação por membrana.

A composição dos sistemas de tratamento móvel, dependem da natureza da água a tratar, podendo ser constituídos por um ou vários equipamentos.

Os sistemas móveis mais complexos a nível tecnológico, nomeadamente, para o tratamento de água para abastecimento, são equipados, por norma, por unidades de ultrafiltração (UF), visto estas membranas a capacidade de filtrar microrganismos patogénicos, como vírus, bactérias e sólidos suspensos.

Na Figura 7.4- EXEMPLOS DE SISTEMAS MÓVEIS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA apresentam-se alguns exemplos existentes no mercado de sistemas de tratamento móveis.

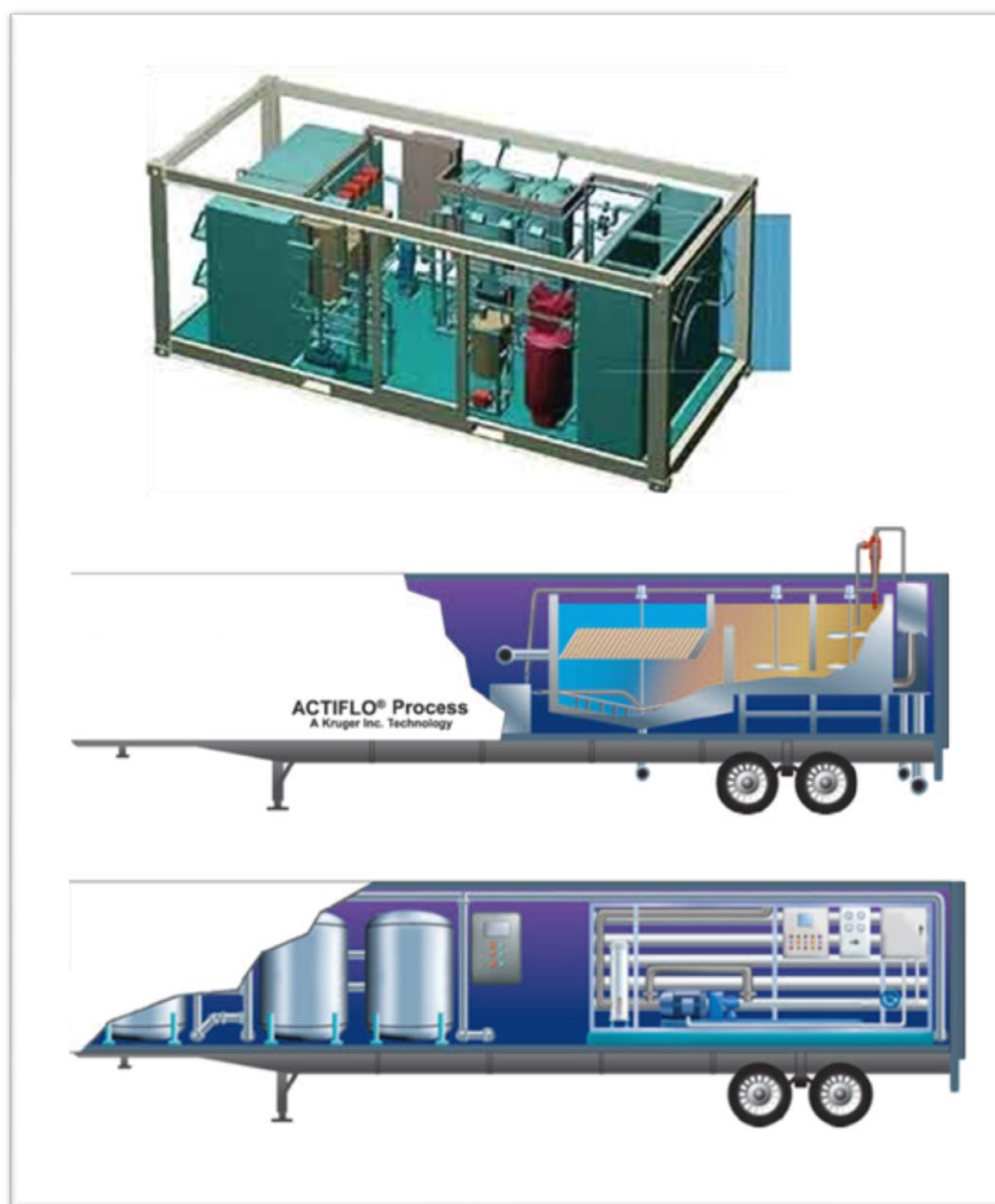


FIGURA 7.4- Exemplos de sistemas móveis para tratamento de água



## 8 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO EM DIFERENTES CENÁRIOS E DISCUSSÃO

O seguinte capítulo apresenta o dimensionamento dos órgãos a implementar na linha de tratamento de água, para uma água bruta com as características estudadas, em três cenários que diferem entre si pelo número de habitantes.

O número de habitantes considerado nos cenários apresentados é hipotético, uma vez que o local escolhido para caracterização da água bruta tem uma elevada densidade populacional, o que implicaria o dimensionamento de um sistema de tratamento com dimensões e responsabilidade governamental, que não estariam de acordo com o objectivo proposto.

Os cenários a apresentar terão como variável o número de habitantes, que serão de 100, 150 e 200 habitantes. Considerou-se que acima destes valores de população, o objectivo deste trabalho não seria atingido, uma vez que o principal objectivo é conseguir desenvolver um sistema de tratamento de água para abastecimento capaz de fornecer água potável para consumo doméstico a pequenos aglomerados de população que não têm acesso à mesma, devido à distância de grandes cidades ou mesmo pela escassez de recursos financeiros existentes no local para a construção de estações de tratamento de água (ETA) capazes de abastecer uma região.

Perante este mesmo objectivo, o dimensionamento será feito tendo por base uma capitação de 50L/dia, por forma a garantir apenas os usos básicos para consumo directo, higiene e alimentação. De acordo com este valor e a dimensão da população, o dimensionamento dos sistemas será feito considerando um caudal diário de  $5\text{m}^3/\text{d}$ ,  $7,5\text{m}^3/\text{d}$  e  $10\text{m}^3/\text{d}$ , respectivamente para os cenários 1,2 e 3. Este valor de capitação é o necessário para garantir os usos básicos, para o consumo, higiene e alimentação.

Os órgãos dimensionados serão para as etapas de coagulação (mistura rápida), de floculação (mistura lenta), de decantação, de filtração e de desinfecção. Além destas etapas, foi também contemplado o dimensionamento de uma etapa de separação por membranas de osmose inversa. As etapas referidas são as etapas necessárias para se obter uma água com qualidade potável, tendo em conta as características do local, bem como as deficiências económicas existentes, com a excepção da etapa de sistema de separação por membranas de osmose inversa, que é apresentada como hipótese de tratamento para os elevados teores de cloretos e dureza total.

O dimensionamento foi feito para quatro diferentes períodos de funcionamento, de duas, quatro, seis e oito horas, de modo a se conseguir obter dados que fossem comparáveis e que permitissem verificar as diferentes possibilidades de funcionamento e, também de dimensões dos órgãos. Foi

também feito o dimensionamento de equipamentos mecânicos e hidráulicos, para as etapas de mistura rápida e mistura lenta.

O maior período de funcionamento considerado foi de oito horas, pois acima deste, as dimensões resultantes para os diferentes órgãos eram demasiado pequenas, tornando o sistema inviável.

A Tabela 8.1 apresenta os resultados obtidos no dimensionamento, utilizando equipamentos mecânicos.

A forma geométrica dos órgãos foi definida em função do tamanho dos órgãos, tentando que os equipamentos de coagulação e floculação tivessem ambos a mesma medida de largura, de modo a puderem ficarem juntos, sem haver desperdício de espaço.

O equipamento de coagulação é apresentado com forma quadrada, não havendo a necessidade de colocação de anteparos, como no caso de formas circulares, devido ao efeito de vortéx, e a etapa de floculação é apresentada numa forma rectangular 2:1, num único compartimento, ou seja, apresentando um único G, pois, como o tamanho do mesmo é pequeno, a sua divisão em mais que um gradiente não iria ter vantagens acrescidas.

O cálculo da potência foi feito através da equação (1), assumindo como apresentado na tabela um G de  $900 \text{ s}^{-1}$  e, uma a viscosidade da água ( $\mu$ ), a uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , de  $0,001002 \text{ N.s/m}^2$ .

O decantador foi dimensionado para duas geometrias, um circular e um rectangular 2:1, que possui dois locais de extracção de lamas, sendo constituído por dois fundos de pirâmides quadrangulares, ambos com remoção de lamas manual, tanto por motivos construtivos, pois devido ao tamanho do órgão não era viável uma ponte raspadora, como por motivos económicos, sendo um gasto que não é justificável para o objectivo em questão, tendo por isso uma inclinação de fundo de  $55^\circ$ .



TABELA 8.1- Dimensionamento mecânico dos órgãos para o sistema de tratamento de água (dimensões úteis) para os três cenários

| Processos  |                         | Dimensionamento |       | Cenário 1                    |       |       |       | Cenário 2 |       |       |       | Cenário 3 |       |   |   |
|------------|-------------------------|-----------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|---|---|
|            |                         |                 |       | População (hab)              |       |       |       |           |       |       |       |           |       |   |   |
|            |                         |                 |       | 100                          |       |       |       | 150       |       |       |       | 200       |       |   |   |
|            |                         |                 |       | Período de funcionamento (h) |       |       |       |           |       |       |       |           |       |   |   |
|            |                         |                 |       | 2                            | 4     | 6     | 8     | 2         | 4     | 6     | 8     | 2         | 4     | 6 | 8 |
| Coagulação | Caudal (m³/h)           | 2,50            | 1,25  | 0,83                         | 0,63  | 3,75  | 1,88  | 1,25      | 0,94  | 5,00  | 2,50  | 1,67      | 1,25  |   |   |
|            | Tempo de retenção (s)   | 60              | 60    | 60                           | 60    | 60    | 60    | 60        | 60    | 60    | 60    | 60        | 60    |   |   |
|            | G (s <sup>-1</sup> )    | 900             | 900   | 900                          | 900   | 900   | 900   | 900       | 900   | 900   | 900   | 900       | 900   |   |   |
|            | Volume (m³)             | 0,042           | 0,021 | 0,014                        | 0,010 | 0,063 | 0,031 | 0,021     | 0,016 | 0,083 | 0,042 | 0,028     | 0,021 |   |   |
|            | Altura (m)              | 0,20            | 0,20  | 0,20                         | 0,20  | 0,20  | 0,20  | 0,20      | 0,20  | 0,20  | 0,20  | 0,20      | 0,20  |   |   |
|            | Lados (m)               | 0,35            | 0,28  | 0,24                         | 0,22  | 0,40  | 0,31  | 0,28      | 0,25  | 0,44  | 0,35  | 0,30      | 0,28  |   |   |
|            | Área (m²)               | 0,12            | 0,08  | 0,06                         | 0,05  | 0,16  | 0,10  | 0,08      | 0,06  | 0,19  | 0,12  | 0,09      | 0,08  |   |   |
|            | Potência (w)            | 33,82           | 16,91 | 11,27                        | 8,45  | 50,73 | 25,36 | 16,91     | 12,68 | 67,64 | 33,82 | 22,55     | 16,91 |   |   |
| Floculação | Tempo de retenção (min) | 30              | 30    | 30                           | 30    | 30    | 30    | 30        | 30    | 30    | 30    | 30        | 30    |   |   |
|            | Volume (m³)             | 1,25            | 0,63  | 0,42                         | 0,31  | 1,88  | 0,94  | 0,63      | 0,47  | 2,50  | 1,25  | 0,83      | 0,63  |   |   |
|            | Altura (m)              | 0,75            | 0,59  | 0,52                         | 0,47  | 0,85  | 0,68  | 0,59      | 0,54  | 0,94  | 0,75  | 0,65      | 0,59  |   |   |
|            | Área (m²)               | 1,67            | 1,05  | 0,80                         | 0,66  | 2,19  | 1,38  | 1,05      | 0,87  | 2,66  | 1,67  | 1,28      | 1,05  |   |   |
|            | Comprimento (m)         | 2,24            | 1,78  | 1,55                         | 1,41  | 2,56  | 2,04  | 1,78      | 1,62  | 2,82  | 2,24  | 1,96      | 1,78  |   |   |
|            | Largura (m)             | 0,35            | 0,28  | 0,24                         | 0,22  | 0,40  | 0,31  | 0,28      | 0,25  | 0,44  | 0,35  | 0,30      | 0,28  |   |   |
|            | G (s <sup>-1</sup> )    | 60              | 60    | 60                           | 60    | 60    | 60    | 60        | 60    | 60    | 60    | 60        | 60    |   |   |
|            | Potência (w)            | 4,51            | 2,25  | 1,50                         | 1,13  | 6,76  | 3,38  | 2,25      | 1,69  | 9,02  | 4,51  | 3,01      | 2,25  |   |   |

**TABELA 8.1 (CONT.)- Dimensionamento mecânico dos órgãos para o sistema de tratamento de água (dimensões úteis) para os três cenários**

| Processo             |                             | Dimensionamento |       | Cenário 1                    |      |       |       | Cenário 2 |      |       |       | Cenário 3 |       |   |   |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|-------|------------------------------|------|-------|-------|-----------|------|-------|-------|-----------|-------|---|---|
|                      |                             |                 |       | População (hab)              |      |       |       |           |      |       |       |           |       |   |   |
|                      |                             |                 |       | 100                          |      |       |       | 150       |      |       |       | 200       |       |   |   |
|                      |                             |                 |       | Período de Funcionamento (h) |      |       |       |           |      |       |       |           |       |   |   |
|                      |                             |                 |       | 2                            | 4    | 6     | 8     | 2         | 4    | 6     | 8     | 2         | 4     | 6 | 8 |
| Decantação           | Carga hidráulica (m³/m².h)  | 1               | 1     | 1                            | 1    | 1     | 1     | 1         | 1    | 1     | 1     | 1         | 1     |   |   |
|                      | Tempo de retenção (h)       | 2               | 2     | 2                            | 2    | 2     | 2     | 2         | 2    | 2     | 2     | 2         | 2     |   |   |
|                      | Inclinação de fundo (º)     | 55              | 55    | 55                           | 55   | 55    | 55    | 55        | 55   | 55    | 55    | 55        | 55    |   |   |
| Circular             | Área (m²)                   | 2,50            | 1,25  | 0,83                         | 0,63 | 3,75  | 1,88  | 1,25      | 0,94 | 5,00  | 2,50  | 1,67      | 1,25  |   |   |
|                      | Diâmetro (m)                | 1,78            | 1,26  | 1,03                         | 0,89 | 2,19  | 1,55  | 1,26      | 1,09 | 2,52  | 1,78  | 1,46      | 1,26  |   |   |
|                      | Volume útil (m³)            | 5,00            | 2,50  | 1,67                         | 1,25 | 7,50  | 3,75  | 2,50      | 1,88 | 10,00 | 5,00  | 3,33      | 2,50  |   |   |
|                      | Altura total (m)            | 2,27            | 1,90  | 1,74                         | 1,64 | 2,56  | 2,10  | 1,90      | 1,78 | 2,80  | 2,27  | 2,04      | 1,90  |   |   |
| Rectangular<br>(2:1) | Área (m²)                   | 2,50            | 1,25  | 0,83                         | 0,63 | 3,75  | 1,88  | 1,25      | 0,94 | 5,00  | 2,50  | 1,67      | 1,25  |   |   |
|                      | Altura total (m)            | 1,80            | 1,56  | 1,46                         | 1,40 | 1,98  | 1,69  | 1,56      | 1,49 | 2,13  | 1,80  | 1,65      | 1,56  |   |   |
|                      | Volume (m³)                 | 5,00            | 2,50  | 1,67                         | 1,25 | 7,50  | 3,75  | 2,50      | 1,88 | 10    | 5,00  | 3,33      | 2,50  |   |   |
|                      | Lados (m)                   | 1,12            | 0,79  | 0,65                         | 0,56 | 1,37  | 0,97  | 0,79      | 0,68 | 1,58  | 1,12  | 0,91      | 0,79  |   |   |
|                      | Comprimento (m)             | 2,24            | 1,58  | 1,29                         | 1,12 | 2,74  | 1,94  | 1,58      | 1,37 | 3,16  | 2,24  | 1,83      | 1,58  |   |   |
| Filtração            | Taxa de filtração (m³/m².h) | 0,10            | 0,10  | 0,10                         | 0,10 | 0,10  | 0,10  | 0,10      | 0,10 | 0,10  | 0,10  | 0,10      | 0,10  |   |   |
|                      | Área (m²)                   | 25,00           | 12,50 | 8,33                         | 6,25 | 37,50 | 18,75 | 12,50     | 9,38 | 50,00 | 25,00 | 16,67     | 12,50 |   |   |
|                      | Comprimento (m)             | 7,07            | 5,00  | 4,08                         | 3,54 | 8,66  | 6,12  | 5,00      | 4,33 | 10,00 | 7,07  | 5,77      | 5,00  |   |   |
|                      | Largura (m)                 | 3,54            | 2,50  | 2,04                         | 1,77 | 4,33  | 3,06  | 2,50      | 2,17 | 5,00  | 3,54  | 2,89      | 2,50  |   |   |
| Desinfecção          | Tempo de contacto (min)     | 45              | 45    | 45                           | 45   | 45    | 45    | 45        | 45   | 45    | 45    | 45        | 45    |   |   |
|                      | Altura                      | 1,50            | 1,50  | 1,50                         | 1,50 | 1,50  | 1,50  | 1,50      | 1,50 | 1,50  | 1,50  | 1,50      | 1,50  |   |   |
|                      | Área (m²)                   | 1,25            | 0,63  | 0,42                         | 0,31 | 1,88  | 0,94  | 0,63      | 0,47 | 2,50  | 1,25  | 0,83      | 0,63  |   |   |
|                      | Comprimento (m)             | 1,58            | 1,12  | 0,91                         | 0,79 | 1,94  | 1,37  | 1,12      | 0,97 | 2,24  | 1,58  | 1,29      | 1,12  |   |   |
|                      | Largura (m)                 | 0,79            | 0,56  | 0,46                         | 0,40 | 0,97  | 0,68  | 0,56      | 0,48 | 1,12  | 0,79  | 0,65      | 0,56  |   |   |
|                      | Volume (m³)                 | 1,88            | 0,94  | 0,63                         | 0,47 | 2,81  | 1,41  | 0,94      | 0,70 | 3,75  | 1,88  | 1,25      | 0,94  |   |   |

Estas duas formas geométricas são as mais económicas e compactas e, apresentam facilidade na remoção de lamas, sendo as mais utilizadas em instalações de pequena dimensão.

A etapa de filtração será assegurada por filtros lentos, pois como já anteriormente justificado, pois são filtros com capacidade de elevada remoção de turvação e microrganismos patogénicos, de tecnologia simples, de baixo custo e de fácil manutenção e a sua limpeza é manual. A geometria deste órgão é também apresentada como rectangular 2:1. Apesar dos caudais a tratar serem pequenos, é previsto a existência de dois filtros lentos, pois, sendo o objectivo do trabalho conceber sistemas capazes de fornecer água potável às populações, e sendo um dos principais problemas das zonas carenciadas a elevada presença de microrganismos, responsáveis por inúmeras doenças provocadas pelo consumo de água não própria, a filtração é uma etapa importante na remoção desses mesmos microrganismos, daí a necessidade de dois órgãos para que a etapa de filtração não seja afectada caso ocorra algum problema de funcionamento nos filtros, impedindo que a mesma seja efectuada. No entanto, como se trata de uma instalação para pequenos caudais e para períodos de funcionamento pequenos, pode não ser justificável a implementação de mais que um filtro, sendo por isso uma situação a avaliar para uma aplicação específica.

A etapa de desinfecção é, tal como a de filtração muito importante na eliminação de microrganismos patogénicos, sendo das etapas que, mesmo sem a existência de coagulação, floculação ou decantação, está quase sempre presente no tratamento de água neste tipo de zonas, sendo a forma, embora deficiente, de permitir oferecer uma água sem microrganismos. A desinfecção é aqui apresentada num tanque, onde será adicionado o desinfectante, o hipoclorito de sódio (lixívia). As dimensões do tanque são feitas tendo em conta um tempo de contacto entre a água tratada e o desinfectante de 45 minutos.

A Figura 8.1 representa a linha de tratamento dimensionada, considerando também a possibilidade de utilização de membranas de osmose inversa.

Conforme referido, períodos de funcionamento superiores a oito horas não são viáveis, visto as dimensões dos órgãos obtidas serem demasiado pequenas, não sendo também comportável a nível construtivo.

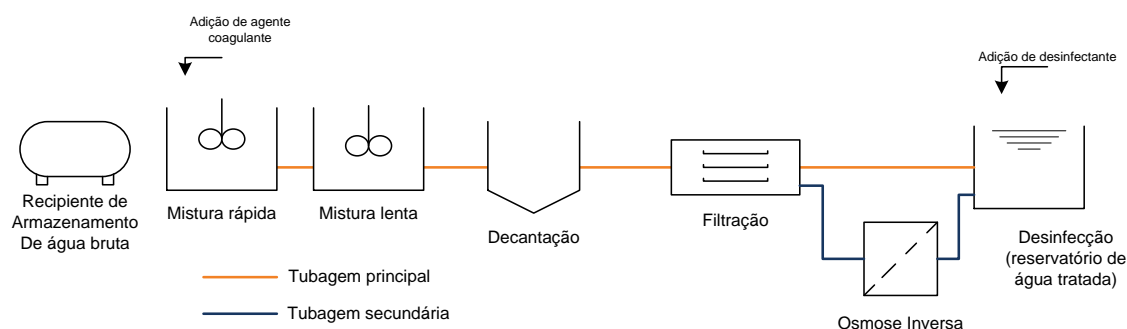


FIGURA 8.1-Representação do sistema de tratamento com equipamentos mecânicos

Quanto a períodos de funcionamento de duas e quatro horas, também não são viáveis, tal como inferiores a estes, pois não permitiriam que o sistema estabiliza-se, ou sequer funciona-se, visto, por exemplo, que o decantador é dimensionado com um tempo de retenção de duas horas. Restando, portanto, o dimensionamento para períodos de funcionamentos de seis ou oito horas.

Para uma melhor percepção da tabela, as Figura 8.2, Figura 8.3 e Figura 8.4 mostram a relação entre as dimensões dos diversos órgãos e o tempo de funcionamento da estação.

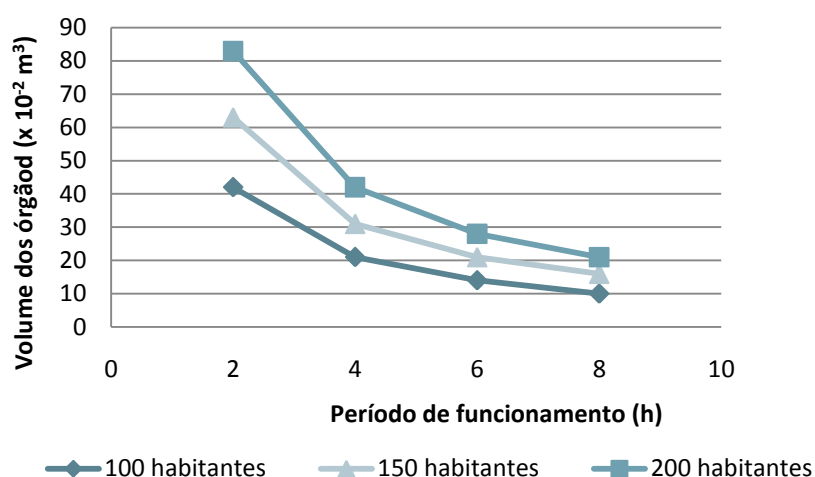


FIGURA 8.2- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a mistura rápida para os três cenários

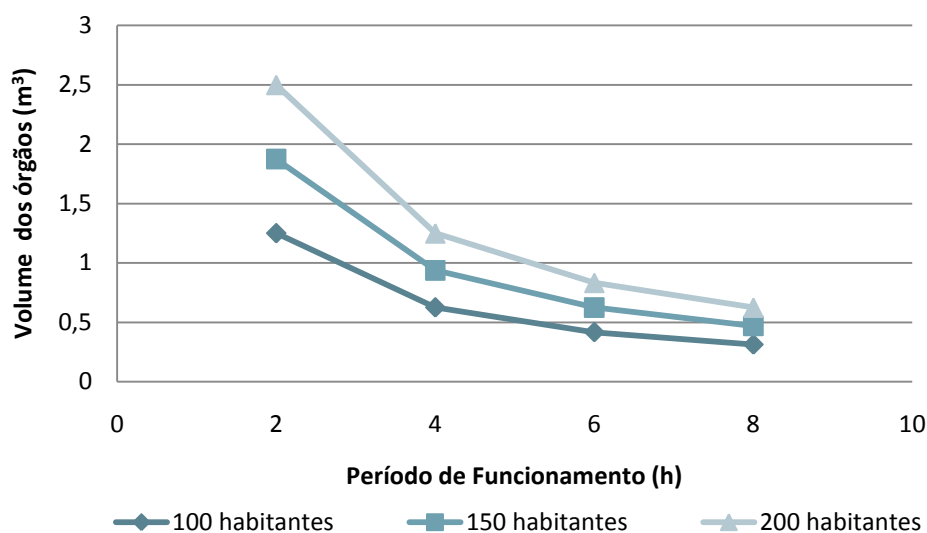


FIGURA 8.3- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a mistura lenta para os três cenários

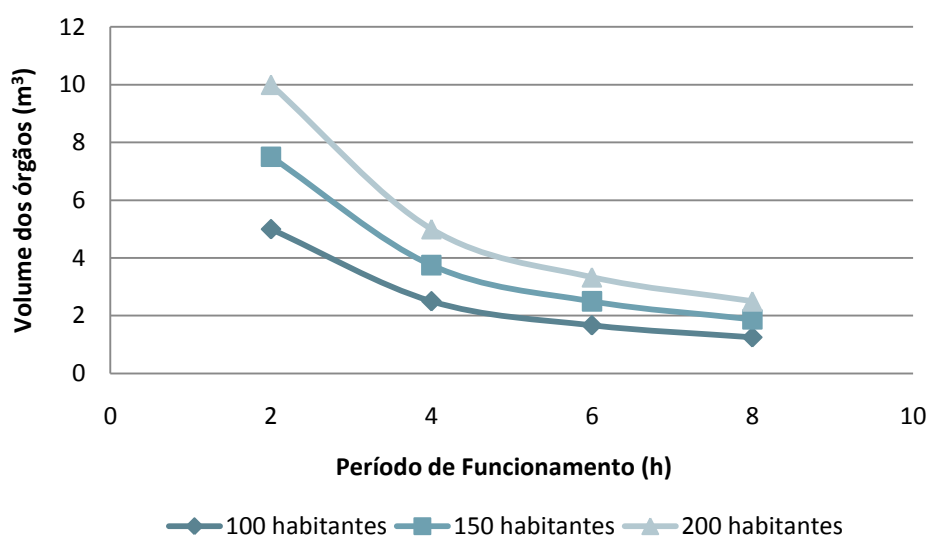


FIGURA 8.4- Relação entre o volume e os períodos de funcionamento para a decantação para os três cenários

O gráfico apresentado na Figura 8.4, foi construído a partir dos dados do dimensionamento do decantador circular. Apenas será apresentado a relação entre volume e período de funcionamento para um dimensionamento de decantação, pois ambos os decantadores apresentam valores de volume muito semelhantes, o que torna desnecessário a apresentação desta relação para ambos os decantadores.

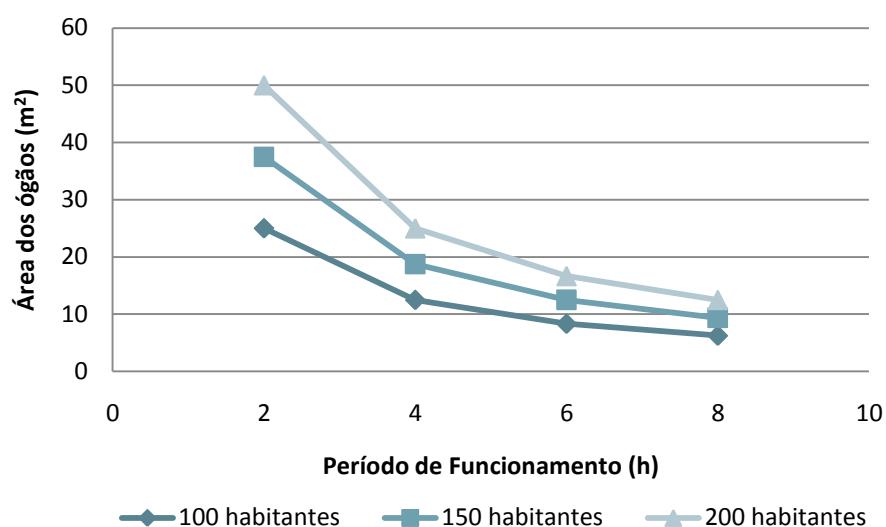


FIGURA 8.5- Relação entre a área e os períodos de funcionamento para a filtração para os três cenários

Em análise aos gráficos apresentados, verifica-se que todos demonstram que, quanto menor for o período de funcionamento da instalação, maior será o volume, para o caso da mistura rápida, lenta e decantação e maior será a área, para o caso da filtração, sendo o volume e a área os critérios mais indicativos de cada órgão. No entanto, como referido, períodos de funcionamento de duas e de quatro horas não são viáveis. Tendo-se por isso que dimensionar a linha de tratamento para seis ou oito horas, tendo em consideração que, quanto menor o período de funcionamento maior é o volume ou área, dos órgãos apresentados, reflectindo-se num maior custo económico na construção dos mesmos, bem como na área necessária de implementação, pois a função de custo é proporcional à área necessária.

Em comparação, a Tabela 8.2, apresenta os valores de dimensionamento hidráulico, para as etapas de mistura rápida e lenta. A opção por equipamentos hidráulicos apresenta a vantagem de ser mais eficiente a nível energético, não sendo necessários equipamentos eléctricos para a realização da agitação e como se verifica na Tabela 8.2, a área e o volume ocupado pelo equipamento de mistura lenta é muito menor, quando comparado com o mecânico. Em suma, a utilização de equipamentos hidráulicos, além de serem mais eficientes a nível energético, ocupam um menor volume e também menor área, o que é bastante vantajoso para o tipo de local a implementar o sistema.

O dimensionamento hidráulico da mistura rápida foi feito com base na equação (1), admitindo-se um  $G$  de  $2000 \text{ s}^{-1}$  e, uma  $\mu$ , a uma temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , de  $1,002 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ .

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \times \mu}} \quad \text{Equação (1)}$$

Através desta equação retirou-se o valor da potência e, recorrendo à equação (2), obteve-se a perda de carga.

$$P = \gamma \times Q \times \Delta H \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

P – Potência útil (w);

Q- caudal (m<sup>3</sup>/s);

$\gamma$  – Peso específico da água (9800 N.m<sup>3</sup>);

$\Delta H$ - Perda de carga (m).

Admitindo que a Figura 8.6 representa a linha de tratamento a implementar e que a mistura rápida é como demonstrado, realizada utilizando a energia dissipada na queda de água, é necessário que a altura da queda de água seja superior à perda de carga encontrada, para que a mistura ocorra.

Quanto à mistura lenta e admitindo também a Figura 8.6 como esquema a adoptar, será feita num floculador de chicanas de fluxo horizontal. A opção recai num floculador de fluxo horizontal, pois no caso de ser fluxo vertical é necessário ter em conta a altura da câmara, que é necessariamente superior a uma de fluxo horizontal, altura essa, que devido aos pequenos caudais a trabalhar, não é conseguida. Para que o fluxo fosse vertical, teria que se diminuir no comprimento da câmara, o que iria fazer com que não fosse possível dispor as chicanas com pelo menos 0,10 m de distância entre elas, distância esta que foi considerada como mínima para que fosse viável, tanto a nível de tratamento, como de limpeza.

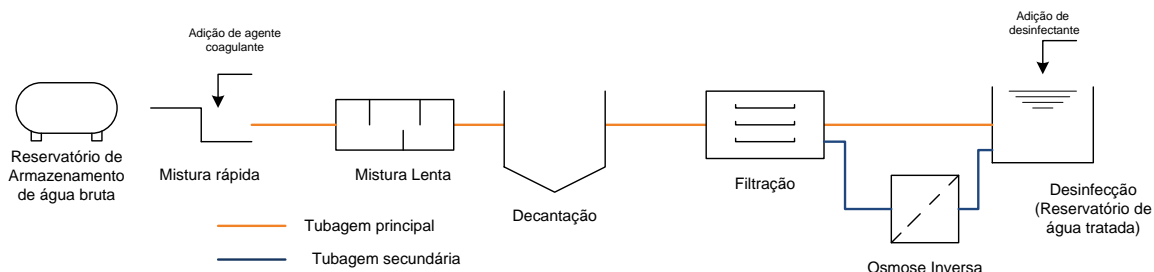


FIGURA 8.6-Representação de sistema de tratamento com equipamentos hidráulicos

O dimensionamento deste órgão foi feito considerando que o seu material de construção seja betão, visto ser um material de relativo baixo custo e de boa durabilidade.

TABELA 8.2-Dimensionamento hidráulico dos órgãos para mistura rápida e lenta (dimensões úteis) para os três cenários

| Processos  |  | Dimensionamento |          | Cenário 1                    |          |          |          | Cenário 2 |          |          |          | Cenário 3 |          |   |   |
|------------|--|-----------------|----------|------------------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|---|---|
|            |  |                 |          | População (hab)              |          |          |          |           |          |          |          |           |          |   |   |
|            |  |                 |          | 100                          |          |          |          | 150       |          |          |          | 200       |          |   |   |
|            |  |                 |          | Período de funcionamento (h) |          |          |          |           |          |          |          |           |          |   |   |
|            |  |                 |          | 2                            | 4        | 6        | 8        | 2         | 4        | 6        | 8        | 2         | 4        | 6 | 8 |
| Coagulação | Caudal (m³/h)                              | 2,50            | 1,25     | 0,83                         | 0,63     | 3,75     | 1,88     | 1,25      | 0,94     | 5,00     | 2,50     | 1,67      | 1,25     |   |   |
|            | G (s <sup>-1</sup> )                       | 2000            | 2000     | 2000                         | 2000     | 2000     | 2000     | 2000      | 2000     | 2000     | 2000     | 2000      | 2000     |   |   |
|            | γ <sup>d</sup>                             | 9800            | 9800     | 9800                         | 9800     | 9800     | 9800     | 9800      | 9800     | 9800     | 9800     | 9800      | 9800     |   |   |
|            | μ (x 10 <sup>-2</sup> N.s/m²) <sup>e</sup> | 1,002           | 1,002    | 1,002                        | 1,002    | 1,002    | 1,002    | 1,002     | 1,002    | 1,002    | 1,002    | 1,002     | 1,002    |   |   |
|            | Tempo de retenção (s)                      | 1               | 1        | 1                            | 1        | 1        | 1        | 1         | 1        | 1        | 1        | 1         | 1        |   |   |
|            | Volume (m³)                                | 6,94E-04        | 3,47E-04 | 2,31E-04                     | 1,74E-04 | 1,04E-03 | 5,21E-04 | 3,47E-04  | 2,60E-04 | 1,39E-03 | 6,94E-04 | 4,63E-04  | 3,47E-04 |   |   |
|            | Potência (w)                               | 2,783           | 1,392    | 0,928                        | 0,696    | 4,175    | 2,088    | 1,392     | 1,044    | 5,567    | 2,783    | 1,856     | 1,392    |   |   |
|            | ΔH <sup>f</sup> (m)                        | 0,41            | 0,41     | 0,41                         | 0,41     | 0,41     | 0,41     | 0,41      | 0,41     | 0,41     | 0,41     | 0,41      | 0,41     |   |   |
| Floculação | μ (x 10 <sup>-2</sup> N.s/m²) <sup>e</sup> | 1,002           | 1,002    | 1,002                        | 1,002    | 1,002    | 1,002    | 1,002     | 1,002    | 1,002    | 1,002    | 1,002     | 1,002    |   |   |
|            | Tempo de retenção (min)                    | 20              | 20       | 20                           | 20       | 20       | 20       | 20        | 20       | 20       | 20       | 20        | 20       |   |   |
|            | Volume (m³)                                | 0,83            | 0,42     | 0,28                         | 0,21     | 1,25     | 0,63     | 0,42      | 0,31     | 1,67     | 0,83     | 0,56      | 0,42     |   |   |
|            | Altura                                     | 0,65            | 0,52     | 0,45                         | 0,41     | 0,75     | 0,59     | 0,52      | 0,47     | 0,82     | 0,65     | 0,57      | 0,52     |   |   |
|            | Área (m²)                                  | 1,28            | 0,80     | 0,61                         | 0,51     | 1,67     | 1,05     | 0,80      | 0,66     | 2,03     | 1,28     | 0,97      | 0,80     |   |   |
|            | Largura (m)                                | 0,65            | 0,52     | 0,45                         | 0,41     | 0,75     | 0,59     | 0,52      | 0,47     | 0,82     | 0,65     | 0,57      | 0,52     |   |   |
|            | Comprimento (m)                            | 2,0             | 1,6      | 1,4                          | 1,2      | 2,2      | 1,8      | 1,6       | 1,4      | 2,5      | 2,0      | 1,7       | 1,6      |   |   |

<sup>d</sup>  $\gamma$  – Peso específico da água, N/m<sup>3</sup><sup>e</sup>  $\mu$  - Viscosidade dinâmica da água, a uma temperatura de 20 °C, N.s/m<sup>2</sup><sup>f</sup>  $\Delta H$ - Perda de carga, m



TABELA 8.2 (CONT.)- Dimensionamento hidráulico dos órgãos para mistura rápida e lenta (dimensões úteis) para os três cenários

| Processo                    |  | Dimensionamento              |       | Cenário 1                    |       |       |       | Cenário 2 |       |       |       | Cenário 3 |       |       |   |
|-----------------------------|--|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|---|
|                             |  |                              |       | População (hab)              |       |       |       |           |       |       |       |           |       |       |   |
|                             |  |                              |       | 100                          |       |       |       | 150       |       |       |       | 200       |       |       |   |
|                             |  |                              |       | Período de Funcionamento (h) |       |       |       |           |       |       |       |           |       |       |   |
|                             |  |                              |       | 2                            | 4     | 6     | 8     | 2         | 4     | 6     | 8     | 2         | 4     | 6     | 8 |
| Floculação<br>(Continuação) | Dimensão das chicanas (m)                  | a (m) <sup>g</sup>           | 0,10  | 0,10                         | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10      | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10      | 0,10  | 0,37  |   |
|                             |  | Largura câmara (m)           | 0,65  | 0,52                         | 0,45  | 0,41  | 0,75  | 0,59      | 0,52  | 0,47  | 0,82  | 0,65      | 0,57  | 0,52  |   |
|                             |  | Comprimento das chicanas (m) | 0,50  | 0,37                         | 0,30  | 0,26  | 0,60  | 0,44      | 0,37  | 0,32  | 0,67  | 0,50      | 0,42  | 0,10  |   |
|                             | Nº canais                                  |                              | 20    | 16                           | 14    | 12    | 22    | 18        | 16    | 14    | 25    | 20        | 17    | 16    |   |
|                             | Nº chicanas                                |                              | 19    | 15                           | 13    | 11    | 21    | 17        | 15    | 13    | 24    | 19        | 16    | 15    |   |
|                             | Velocidade <sub>1</sub> (m/s) <sup>h</sup> |                              | 0,30  | 0,30                         | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30      | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30      | 0,30  | 0,30  |   |
|                             | Velocidade <sub>2</sub> (m/s) <sup>i</sup> |                              | 0,20  | 0,20                         | 0,20  | 0,20  | 0,20  | 0,20      | 0,20  | 0,20  | 0,20  | 0,20      | 0,20  | 0,20  |   |
|                             | Raio hidráulico (m)                        |                              | 0,05  | 0,05                         | 0,05  | 0,04  | 0,05  | 0,05      | 0,05  | 0,05  | 0,05  | 0,05      | 0,05  | 0,05  |   |
|                             | Coeficiente de Chezy (m <sup>1/2</sup> /s) |                              | 49,96 | 49,81                        | 49,70 | 49,62 | 50,04 | 49,90     | 49,81 | 49,74 | 50,08 | 49,96     | 49,88 | 49,81 |   |
|                             | Perdas de carga                            | Localizada                   | 0,13  | 0,11                         | 0,09  | 0,09  | 0,15  | 0,12      | 0,11  | 0,10  | 0,17  | 0,13      | 0,12  | 0,11  |   |
|                             |  | Continua                     | 0,008 | 0,005                        | 0,003 | 0,003 | 0,010 | 0,006     | 0,005 | 0,004 | 0,013 | 0,008     | 0,006 | 0,005 |   |
|                             |  | Total                        | 0,14  | 0,11                         | 0,10  | 0,09  | 0,16  | 0,13      | 0,11  | 0,10  | 0,18  | 0,14      | 0,12  | 0,11  |   |
|                             | Potência (w)                               |                              | 0,97  | 0,38                         | 0,22  | 0,15  | 1,67  | 0,66      | 0,38  | 0,26  | 2,46  | 0,97      | 0,56  | 0,38  |   |
|                             | G (s-1)                                    |                              | 34,03 | 30,24                        | 28,25 | 26,94 | 36,50 | 32,39     | 30,24 | 28,81 | 38,39 | 34,03     | 31,75 | 30,24 |   |

<sup>g</sup> a – distância entre chicanas

<sup>h</sup> Velocidade<sub>1</sub>- velocidade da água nos canais; representa a velocidade máxima

<sup>i</sup> Velocidade<sub>2</sub>- velocidade da água na passagem entre os canais

Como é possível observar tanto na Figura 8.1 e na Figura 8.6 está representado o sistema de membranas de osmose inversa, pois a água bruta a tratar, contém elevados teores de cloretos e de dureza total, como tal, a hipótese de remoção dos mesmos contaminantes é o uso de membranas de osmose inversa, sendo no entanto, uma hipótese menos apelativa economicamente, mas a que permite obter uma água para consumo de melhor qualidade. O dimensionamento é apresentado na Tabela 8.3.

TABELA 8.3-Dimensionamento para membranas de osmose inversa

| Dimensionamento              | Cenário 1                    |      |      |      | Cenário 2 |      |      |      | Cenário 3 |      |      |      |
|------------------------------|------------------------------|------|------|------|-----------|------|------|------|-----------|------|------|------|
|                              | População (hab)              |      |      |      |           |      |      |      |           |      |      |      |
|                              | 100                          |      |      |      | 150       |      |      |      | 200       |      |      |      |
|                              | Período de Funcionamento (h) |      |      |      |           |      |      |      |           |      |      |      |
|                              | 2                            | 4    | 6    | 8    | 2         | 4    | 6    | 8    | 2         | 4    | 6    | 8    |
| Caudal (m³/h)                | 2,50                         | 1,25 | 0,83 | 0,63 | 3,75      | 1,88 | 1,25 | 0,94 | 5,00      | 2,50 | 1,67 | 1,25 |
| Caudal Permeado (m³/h)       | 2,48                         | 1,24 | 0,83 | 0,62 | 3,71      | 1,86 | 1,24 | 0,93 | 4,95      | 2,48 | 1,65 | 1,24 |
| Taxa de recuperação          | 0,75                         | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75      | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75      | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| Caudal de alimentação (m³/h) | 3,30                         | 1,65 | 1,10 | 0,83 | 4,95      | 2,48 | 1,65 | 1,24 | 6,60      | 3,30 | 2,20 | 1,65 |
| Área (m²)                    | 0,12                         | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,19      | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,25      | 0,12 | 0,08 | 0,06 |

A água resultante de um processo de osmose inversa, é desmineralizada, sendo por isso necessário adicionar reagentes para compensar essa mesma perda. Em alternativa, apenas uma parte do caudal é tratado por osmose inversa, que posteriormente será adicionado ao caudal que não foi tratado, como representado na Figura 8.7.

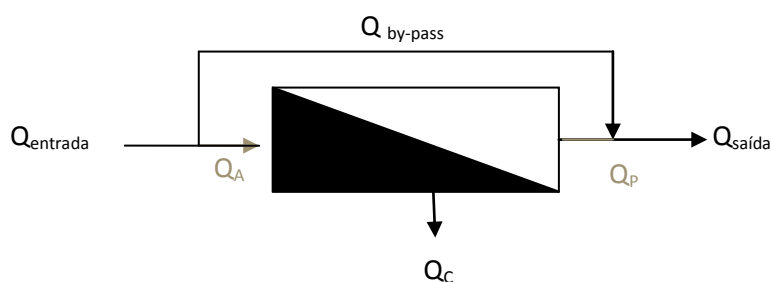


FIGURA 8.7-Esquema explicativo do funcionamento do processo de separação por membranas de osmose inversa

Sendo:

$Q_{entrada}$  – Caudal em tratamento, antes da etapa de osmose inversa;

$Q_A$  – Caudal que entrará na membrana de osmose inversa;

$Q_P$  – Caudal que sairá tratado da membrana;

$Q_{by-pass}$  – Caudal que não irá pelo sistema de membranas de osmose inversa;

$Q_{saída}$  - Caudal final após tratamento com membrana. É a junção do  $Q_{permeado}$  com o  $Q_{by-pass}$ ;

$Q_c$  – Caudal que irá conter os contaminantes.

O dimensionamento da área da membrana foi feito com base no  $Q_{permeado}$ . Este caudal permeado tem de garantir as necessidades de abastecimento e, também garantir uma concentração final de cloretos dentro dos valores permitidos pela legislação. Como referido, apenas uma parte do caudal entra no sistema de membranas, tendo sido então adoptado que 1% do caudal seja  $Q_{by-pass}$  e, que 99% do caudal seja considerado o  $Q_{permeado}$ . Tendo por base estes critérios, a Tabela 8.3 mostra então as dimensões das membranas, tendo sido considerado que a taxa de recuperação de água,  $Y$ , fosse de 0,75 e, que a taxa de produção da membrana,  $q_M$ , fosse de  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ , sendo estes dois parâmetros necessários para o dimensionamento do sistema de membranas.

Para o cálculo da área da membrana,  $A_M$ , foi usada a equação (3):

$$A_M = Q_p/q_M$$

Com:

$A_M$  – Área da membrana,  $\text{m}^2$

$Q_p$  – Caudal permeado,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$q_M$  – Taxa de produção da membrana,  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ .

E, para o cálculo do caudal de alimentação,  $Q_A$ , foi usada a equação (4):

$$Y = Q_p/Q_A$$

Com:

$Y$  - Taxa de recuperação de água;

$Q_p$  – Caudal permeado,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$Q_A$  – Caudal de alimentação,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Para uma melhor percepção da Tabela 8.3, a Figura 8.8 representa a área da membrana, para cada cenário, consoante os diferentes períodos de funcionamento. Pela figura verifica-se que o cenário 1 é o que apresenta menores áreas, seguindo-se o cenário 2 e, o cenário 3 é o que apresenta membranas com maiores áreas, em relação aos períodos de funcionamento, verifica-se ainda que as áreas das membranas decrescem com o aumento dos períodos de funcionamento.

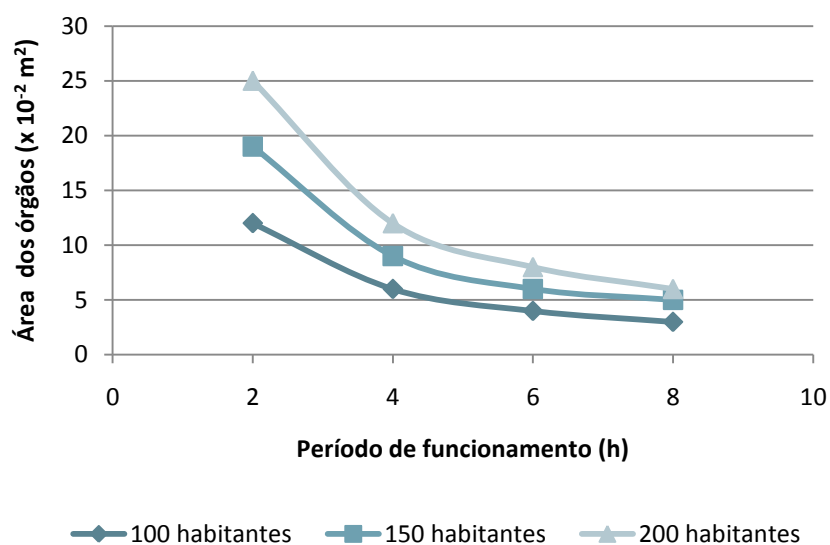


FIGURA 8.8- Área das membranas de osmose inversa para os três cenários e diferentes períodos de funcionamento

Pela Tabela 8.3 verifica-se que o caudal necessário, ou seja, de alimentação é superior ao permeado, assim, para uma melhor percepção da tabela, nas Figura 8.9, Figura 8.10 e Figura 8.11, estão representados pelos gráficos os caudais permeados e de alimentação para 100, 150 e 200 habitantes, respectivamente, comparam ambos os caudais, para cada uma das populações, em relação ao período de funcionamento.

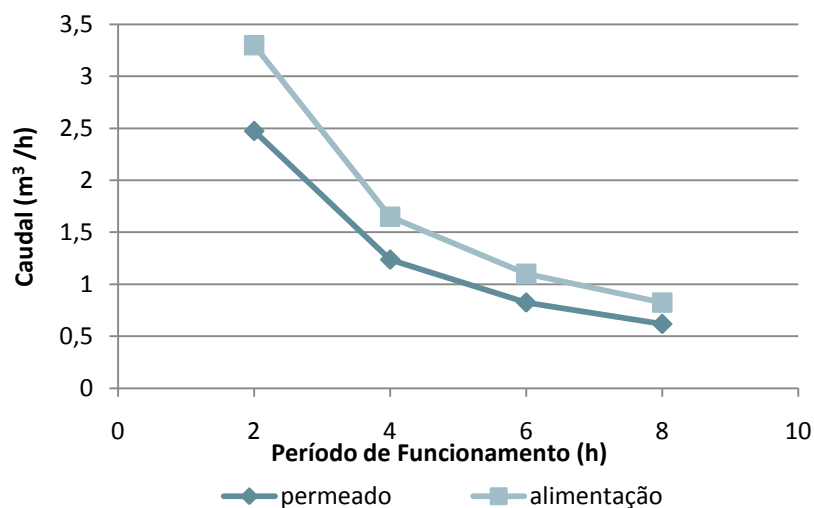


FIGURA 8.9-Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 100 habitantes

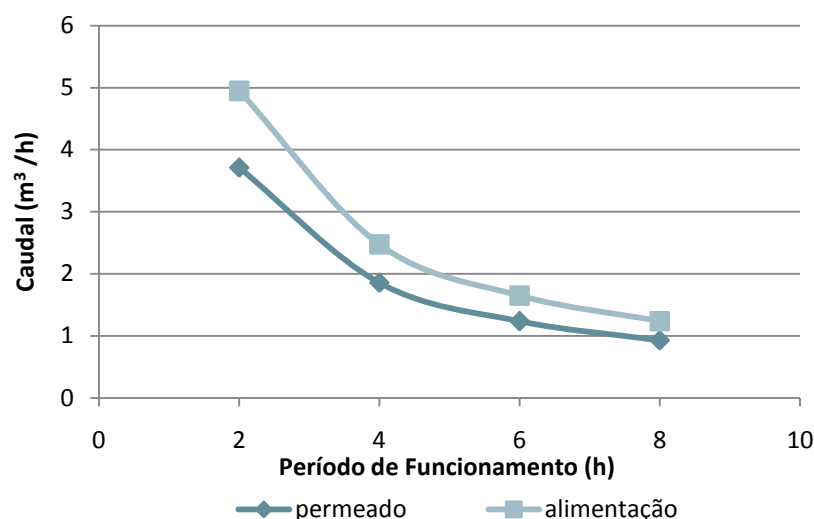


FIGURA 8.10- Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 150 habitantes

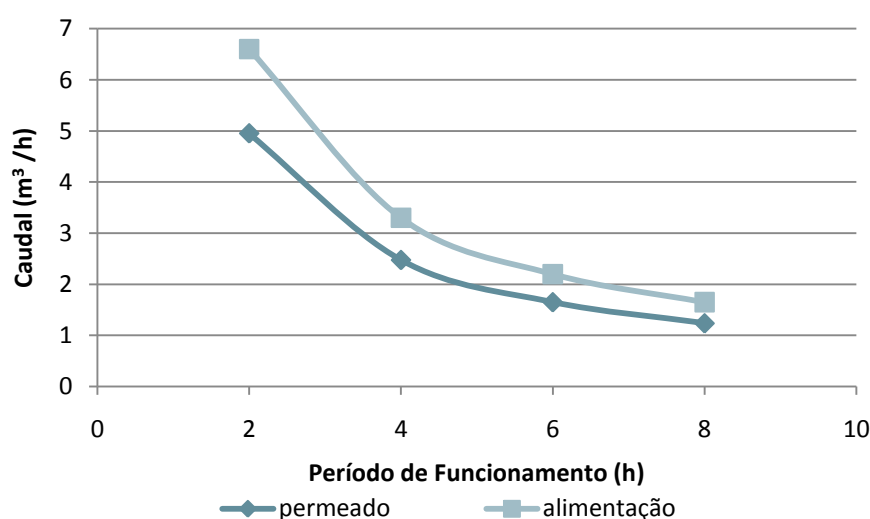


FIGURA 8.11-Relação entre o caudal permeado e o de alimentação para 200 habitantes

Pela análise dos gráficos, é verificado em todos eles o mesmo comportamento. Assim, como exemplo, para o caso da população de 100 habitantes, para um caudal permeado de  $0,63 \text{ m}^3/\text{h}$ , seria necessário que a instalação trabalhe-se pelo menos seis horas, de modo a garantir o caudal de alimentação. O mesmo se passa nos restantes sistemas.

Tendo em conta este indício, caso o sistema de separação por membranas seja adoptado para o tratamento de água, tem que se ter em conta o número de horas que a instalação estará em funcionamento, de modo a conseguir garantir o caudal necessário para o tratamento de separação por membranas.

Deste modo, é também importante abordar a questão do abastecimento de água bruta à estação de tratamento. Visto o objectivo do trabalho ser conceber e desenvolver sistemas de tratamento para zonas economicamente carenciadas, neste caso África e, sabendo-se as dificuldades existentes no País, uma das soluções, que também como já referido, já existe mas noutros moldes, é fazer com que a estação seja construída no local de recolha da água bruta, o que pode ser economicamente atractivo, visto não ser necessários custos de sistema de condutas até à estação ou, outra hipótese seria a recolha da água bruta através de um dispositivo móvel composto por um tanque, que depois deslocar-se-ia até à instalação de tratamento de água, ficando a água armazenada nesse mesmo tanque.

A nível de distribuição de água e, seguindo o mesmo raciocínio anterior, sendo a água tratada apenas para consumo doméstico, ou seja, para as actividades essenciais de higiene, lavagem de alimentos e consumo, a água seria distribuída a partir da própria estação ou, a partir de um local central, em que toda a população tivesse acesso sem necessidade de grandes deslocações, não sendo distribuída através de nenhum sistema de rede de distribuição, que torna bastante atractivo a nível económico para as autoridades responsáveis e também porque ainda não existem nestes locais infra-estruturas capazes de permitir que a água potável seja canalizada até às habitações de cada família.

Outro factor a abordar é a formação e deposição das lamas. A composição destas varia consoante o reagente coagulante a utilizar.

Se for o reagente químico, Sulfato de Alumínio, sabe-se que 1mg/L sulfato dá origem a 0,26 mg/L de hidróxidos de sulfato. O cálculo do volume de lamas obtidas é feito pela equação (5):

$$V = \frac{MS \times 100}{l \times (\%ST)}$$

Sendo,

V- Volume de lamas, m<sup>3</sup>;

MS- Matéria seca, mg/L (tendo em conta a estequiometria de mg/L de sulfato e mg/L de hidróxidos de sulfato originários, assumindo que será usado 40mg/L de sulfato de alumínio);

l- Peso da água, kg/m<sup>3</sup>

%ST- Percentagem de sólidos removidos no decantador.

Se, for antes utilizada a semente de *Moringa oleifera*, pela bibliografia não foram encontrados quaisquer dados referentes à composição química das lamas, apenas que estas são biodegradáveis, o que é bastante positivo, pois podem ser depositadas sem o perigo de contaminação de solos e pode

ser ainda um bom fertilizante. Como não existe qualquer referência na qualidade e quantidade das lamas por estas sementes formadas, é assumido que as lamas representam entre 1 a 2% do caudal afluente.





## 9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A promoção de água potável, é um bem essencial a qualquer ser humano, tendo por isso toda a importância a abordagem deste tema. Contudo, nem todos os países e regiões têm a capacidade de proporcionar essas mesmas fontes de água potável aos habitantes, originando depois diversos tipos de doenças, muitas vezes mortais.

Os sistemas variam consoante a qualidade de água bruta encontrada nos locais, contudo os sistemas de tratamento de água, nas zonas carenciadas, têm de ser bastante simples, tanto pela escassez económica, como também de mão-de-obra especializada para a manutenção dos mesmos sistemas.

Os sistemas de tratamento de água foram desenvolvidos com base na qualidade de água bruta, que apresentava elevados teores de cloretos, que ultrapassavam em larga escala o limite imposto pela legislação, de 250 mg/L. Devido a esta elevada concentração, embora não seja prejudicial à saúde humana, uma das hipóteses de tratamento é a utilização do processo de separação por membranas de osmose inversa, sendo no entanto a hipótese menos favorável em termos económicos

A restante linha de tratamento tem de garantir que a água tratada seja potável, tendo necessariamente as etapas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção, isto se os valores de turvação o exigirem, pois pelos dados apresentados, admite-se que é possível fazer by-pass à decantação ou à floculação e decantação, pois no caso em estudo, os valores de turvação não são muito elevados. Duas etapas importantes a implementar são a filtração e a decantação, sendo a filtração, uma filtração lenta, sendo a mais indicada para sistemas de tratamento pequenos e, também por apresentar elevada eficiência na remoção de microrganismos patogénicos, responsáveis pelas doenças causadas pela água não potável e, do mesmo modo a importância da desinfecção, com o objectivo de eliminar os microrganismos patogénicos. A informação encontrada relativa à presença de microrganismos patogénicos foi bastante escassa, no entanto, e devido às condições precárias de saneamento básico existentes nas zonas carenciadas, foi assumida a presença de microrganismos na água a tratar, sendo por isso a desinfecção uma etapa de extrema importância.

O dimensionamento dos sistemas de tratamento mostrou que, deferindo os períodos de funcionamento da instalação, por duas, quatro, seis e oito horas, os órgãos de tratamento variam de tamanho, sendo maiores para períodos de funcionamento menores e, menores para períodos menores.

A nível construtivo, períodos superiores a 8 horas não são viáveis, pois as dimensões dos órgãos serão demasiado pequenas. Relativamente aos períodos de duas e quatro horas também não são viáveis, neste caso a nível funcional, pois não iriam permitir que o sistema estabiliza-se, ou mesmo,

como o caso para um funcionamento de duas horas, não funcionasse, devido às exigências de tempos de retenção em cada órgão.

A opção entre os períodos de funcionamento de seis e oito horas recai posteriormente no espaço disponível de implementação e custo dos órgãos. No entanto, a opção do período de funcionamento, tem que ter outro ponto em conta, o da utilização ou não do processo de separação por membranas de osmose inversa. Pela análise dos gráficos apresentados, verificou-se que para assegurar o caudal às populações é necessário um maior caudal de alimentação, conseguindo-se esse caudal, utilizando para o dimensionamento um período de funcionamento com menos horas, embora a instalação trabalhe com o período de funcionamento superior, isto é, por exemplo, considerando o cenário de 150 habitantes e um período de funcionamento de 6 horas, a instalação terá que ser dimensionada com um caudal superior, correspondendo ao de 4 horas, embora trabalhe com um período de 6 horas.

Pela análise dos gráficos apresentados, verificou-se também que a utilização de equipamentos hidráulicos é mais favorável que a utilização de equipamentos mecânicos, tendo em consideração a eficiência energética e o espaço de implementação necessário.

Em conclusão, a melhor hipótese de sistema a implementar recai no uso do sistema convencional, ou seja, sem a acomodação de membranas de osmose inversa, com equipamentos hidráulicos.

Outro problema dos países em desenvolvimento é a reduzida ou, mesmo inexistente, rede de abastecimento de água, o que tende neste trabalho a ser ultrapassado, através da aplicação da fonte de água potável ser feita, ou na própria instalação ou então em local central, de modo a que a população consiga ter acesso à água potável sem ter que percorrer grandes distâncias ou, que não exija da parte das autoridades gastos em redes de abastecimento de água até às habitações.

A realização deste trabalho teve como principais lacunas a falta de informação sobre a qualidade de água do local, a nível de parâmetros como oxidabilidade, OD e alcalinidade da água, bem como de parâmetros microbiológicos. Como tal, sugere-se que em trabalhos futuros a caracterização da água seja mais rigorosa de modo a verificar se os sistemas desenvolvidos constituem falhas no seu dimensionamento. Também se deverá fazer um estudo económico dos sistemas de tratamento de água a implementar, de maneira a que haja uma melhor análise e comparação entre as diversas hipóteses de sistemas de tratamento. Tal estudo teria como objectivo principal uma avaliação económica dos sistemas de tratamento de água passíveis de implementação.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, G. (2005). *Contribuição para o estudo da avaliação de instalações de tratamento de águas . Desenvolvimento de um algoritmo de cálculo automático*. Lisboa
- Almeida, Gabriela. 2008. *Coagulação/floculação*. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. Monte da Caparica : FCT (UNL)
- Almeida, Gabriela. 2008a. *Decantação*. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. Monte da Caparica : FCT (UNL)
- Almeida, Gabriela. 2009. *Desinfecção*. Operações e processos unitários. Monte da Caparica : FCT (UNL)
- ARA-Sul. (2008), *Estado da qualidade da água na região Sul de Moçambique*, pp. 28. [disponível em: <http://www.ara-sul.co.mz/publ/ESTADO%20DA%20QdA%20-%20II%20Trimestre%202008.pdf>; consultado em Abril de 2010]
- AWWA. 1979. *Principles and Practices of Water Supply Operation*. 4ª Edição
- Camel, V. & Bermond, A. ( 1998). *The use of ozono and associated oxidation process in drinking water treatment*, Elsevier Scienc., Vol. 32 (11), pp. 3208-3222
- Cordovil, Cláudia S.( 2008). *Inrodução à Política Ambiental- Retrospectiva Histórica da Problemática Ambiental*, Intituto Superior de Agronomia,Lisboa
- Cumbe, Ângelo Nhapacho Francisco. (2007). *O Património Geológico de Moçambique:Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação*. Dissertação de Mestrado em Património Geológico e Geoconservação da Escola de Ciências da Universidade do Minho. Braga, pp. 273.
- Economic Comission for Africa. (2006). *Water in Africa: Management Options to Enhance Survival and Growth*, United Nations
- EPA. (2001). *Parameters of water quality - Interpretation and standars*
- EPA. (2000). *The History of Drinking Water*. EPA-816-F-00-006. Environmental Protection Agency. United States
- Francis, A. & Royce, Small Mitchell, J. & VanBriesenb, Jeanne M. (2009). *Multivariate distributions of disinfection by-products in chlorinated drinking water*. Water Research. Vol. 43, pp. 3453- 3468
- Gadgil, A. (1998), *Drinking water in developing countries*. Vol. 23, pp. 253-286
- Golfiopoulous, Spyros K. & Nikolaou, Anastasia D. (2005). *Survey of disinfection by-products in drinking water in Athens, Greece*. Desalination. Vol. 176 , pp. 13-24
- Hermes, Luiz Carlos and Pinto, Nayara de Oliveira. (2006). *Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa. São Paulo. pp. 50

Hesperian Foundation - UNDP.( 2005). *Water for life - Community water security*, USA . [disponível em: [http://www.hesperian.info/assets/environmental/Water\\_EN.pdf](http://www.hesperian.info/assets/environmental/Water_EN.pdf); consultado em : Maio de 2010]

Hindiyyed, Muna & Ali, Ashraf. (2010). *Investigating the efficiency of solar energy system for drinking water disinfection*. Desalination.Vol. 259. pp. 208–215

Holland, Frederick & Garland, Michael. (1989). *Report on mobile emergency water treatment and disinfection units*. U.S. Agency for International Development - Water and Sanitation for Health Project

IDA. (2007). *IDA at Work: Sanitation and Water Supply- improving for the poor*. World Bank. pp. 24. [disponível em : <http://siteresources.worldbank.org/IDA/Resources/IDA-Sanitation-WaterSupply.pdf>; consultado em Março de 2010]

INE. (2007). Census 2007. *Instituto Nacional de Estatísticas de Moçambique*. [disponível em: <http://www.ine.gov.mz>; consultado em Abril de 2010]

Khawajia, Akili D. & Kutubkhanaha, Ibrahim K. & Wie, Jong-Mihn. (2008). *Advances in seawater desalination technologies*. Vol. 221, pp. 47-69

Kim, J., et al. (2002). *Chlorination by-products in surface water treatment preoress*. Desalination. 2002. Vol. 151. pp. 1-9

Kingsolver, Barbara. (2010). *Água Doce*. National Geographic

Martrano, Ray. (2010), *Understanding Taste and Odor Problems in Finished Drinking*. [disponível em: <http://www.microbac.com/uploads/201003221750020.Geosmin%20&%20MIB.pdf>; consultado em Maio de 2010]

Matilainen, Anu & Vepsäläinen, Mikko & Sillanpää, Mika. (2010). *Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review*. Advances in Colloid and Interface Science. pp. 9

Mendes, Benilde & Oliveira, J.F.Santos. (2004).*Qualidade da água para consumo humano*.Lidel. Lisboa

Mierzwa, José Carlos, et al. (2008). *Drinking water treatment by ultrafiltration: comparative evaluation through direct capital and operational costs with conventional and conventional with actived carbon system*. Artigo Técnico. Vol. 13 (1). pp. 78-87

Ndabigengesere, A. & Narasiah, K.Subba & Talbot, Brian G. (1994). *Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa Oleifera*. Wat. Res.. Vol. 29 (2). pp. 703-710

Ndabigengesere, Anselme & Narasiah, K.Subba. (1997).*Quality of water treated by coagulation using Moringa Oleifera seeds*. Wat. Res.. Vol. 32 (3). pp. 781-791

Pereira, L.& Cordery, I & Lacovides, I. (2002). *Coping with Water Scarcity*.Vol. 58

- Peter-Varbanetsa, Maryna, *et al.* (2009). *Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology*. Water Research. Vol. 43. pp. 245-265
- Praus, P. (2003). *Drinking water disinfection and formation of by-products*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Vol. XLIX(2). pp. 95-102
- Répubblica de Moçambique - Página Oficial, Página Oficial da República de Moçambique. [disponível em: [www.mozambique.mz](http://www.mozambique.mz); consultado em Março de 2010]
- Répubblica de Moçambique. (2007). *Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos*
- Répubblica de Moçambique. 2005. *Perfil do Distrito de Moamba - Província de Maputo*. Ministério da Administração Estatal, Moamba
- Richter, Carlos A. & Netto, José de Azevedo. (1991). *Tratamento de Água*. 4ª Edição. Edgard Blucher Ltda. São Paulo
- Santana, F. & Almeida, G. & Martins, S. (1998). *Metodologia de Avaliação do Funcionamento de Estações de Tratamento de Águas para Abastecimento Público*. UNL-FCT. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Ministério do Ambiente. Instituto do Ambiente, Direcção de Serviços dos Recursos Hídricos. Lisboa. pp. 72
- Schwarz, Dishana. (2000). *Water clarification using Moringa Oleifera*. Gate
- Siddiqui, Mohamed S. & Amy, Gary L. & Murphy, Brian D. (1997). *Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinkind water sources*. Water Res. 1997. Vol. 31(12). pp. 3098-3106
- Stephenson, David. (1998). *Water Supply Management*. Johannesburg : Kluwer Academic Publishers. Vol. 29. pp. 306
- Suslow, Trevor.( 2001). *Water Disinfection- A practical Approach to Calculating Dose Values for Preharvest and Postharvest Application* . Postharvest Specialist. University of California
- Tal, Alon. (2006). *Seeking Sustainability: Israel's Evolving Water Management Strategy*. Science. Vol. 313. pp. 1081-1084
- Ubomba-Jaswa, Eunice, *et al.* (2009). *Solar disinfection of drinking water (SODIS): an investigation of the effect of UV-A dose on inactivation efficiency*. Photochemical & Photobiological Sciences. Vol. 8 (5). pp. 569-740
- UNDP. (2007). *Human Development Index Worl Map*. [disponível em: [www.undp.org](http://www.undp.org) ; consultado em: Abril de 2010]
- Unesco - World Water Assesment Programme. (2009). *The United Nations World Water Development Report 3*
- United Nations.( 2008). *The Millenium Development Goals - Report 2008*. New York
- UN-Water. (2010). *Global Annual Assesments of Sanitation and Drinking-Water - 2010*
- Varennnes, Amarilis de. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora. Lisboa

Vieira, Paula R. (2009). Avaliação de desempenho de estações de tratamento - Tese de Douturamento

WHO. (2007a). *Desalination for Safe Water Supply - Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination*. Geneva. pp. 173.

WHO. (2004). *Water, Sanitation and hygiene links to health - Facts and Figures*. World Health Organization - Water Sanitation and Healt.[disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/facts2004/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/en/); consultado em Abril de 2010

WHO, UNICEF .(2010). *Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation - Progress on Sanitation and Drinking-water: 2010 Update*

Worl Bank. (2009). An Online Atlas of the Millenium Development Goals. *The World Bank*. [ disponível em: <http://devdata.worldbank.org/atlas-mdg/>; consultado em : Abril de 2010]

## ANEXOS

### A. VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DOS RIOS MONITORIZADOS PELA ARA-SUL

**TABELA A.1- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DA BACIA UMBELUZI**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1º                  | 24,8   | 8,34 | 723       | 168       | 120,53          | 5,71                   | 0,03                   | 0,14            | 1              |
|          | 2º                  | 21     | 7,88 | 746       | 182       | 118,8           | 1,25                   | 0,03                   | 0,04            | 4              |
| 2        | 1º                  | 26,4   | 8,01 | 503       | 160       | 67,36           | 4,99                   | 0,03                   | 0,16            | 3,6            |
|          | 2º                  | 20     | 8,38 | 742       | 228       | 72,67           | 2,85                   | 0,03                   | 0,17            | 35             |
| 3        | 1º                  | 25,7   | 7,2  | 1563      | 360       | 1843,4          | 3,64                   | 0,09                   | 0,2             | 0,5            |
|          | 2º                  | 22,3   | 7,09 | 1557      | 400       | 157,8           | 1,84                   | 0,08                   | 0,07            | 1,5            |
| 4        | 1º                  | 26,6   | 8,32 | 660       | 150       | 111,67          | 2,61                   | 0,03                   | 0,15            | 1,8            |
|          | 2º                  | 21,3   | 8,86 | 691       | 172       | 104,6           | 1,49                   | 0,03                   | 0,05            | 0,5            |
| 5        | 1º                  | 25,8   | 7,97 | 722       | 174       | 127,62          | 8,81                   | 0,03                   | 0,3             | 1,7            |
|          | 2º                  | 20,2   | 8,39 | 751       | 182       | 115,2           | 0,83                   | 0,03                   | 0,04            | 2              |
| 6        | 1º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | 25     | 8,31 | 1152      | 274       | 132,9           | 6,77                   | 0,03                   | 0,04            | 1,5            |
| 7        | 1º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | 25,1   | 7,67 | 1120      | 268       | 131,2           | 6,46                   | 0,03                   | 0,04            | 0,5            |
| 8        | 1º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | 23,1   | 8,27 | 1148      | 280       | 136,5           | 7,42                   | 0,03                   | 0,12            | 0,5            |

**TABELA A.2- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DA BACIA DE MAPUTO**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1ºtri               | 24,1   | 7,5  | 245       | 112       | 31,91           | 32,8                   | 0,03                   | 2,79            | 95             |
|          | 2ºtri               | 21     | 8,14 | 400       | 100       | 44,31           | 7,68                   | 0,14                   | 0,67            | 0,5            |
| 2        | 1ºtri               | 32,1   | 7,5  | 1445      | 96        | 33,68           | 30,2                   | 0,04                   | 3,05            | 96             |
|          | 2ºtri               | 20,2   | 8,9  | 401       | 102       | 26,58           | 7,31                   | 0,11                   | 0,05            | 9,5            |

**TABELA A.3- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DO RIO MATOLA**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1º                  | 24,1   | 7,31 | 22912     | 8433      | 24578           | 13,2                   | 0,1                    | 2,3             | 38,1           |
|          | 2º                  | 21,2   | 7,42 | 1110      | 178       | 193             | 6,3                    | 0,2                    | 0,6             | 35             |
| 2        | 1º                  | 25,9   | 7,33 | 28000     | 10600     | 30301           | 5                      | 0,03                   | 0,6             | 5,9            |
|          | 2º                  | 21,2   | 7,42 | 28500     | 16500     | 10635           | 18,6                   | 0,03                   | 1,2             | 4,5            |

**TABELA A.4- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DO RIO INFULENE**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1º                  | 27,3   | 7,67 | 869       | 192       | 159,5           | 65,33                  | 0,17                   | 3,2             | 10             |
|          | 2º                  | 22,7   | 7,67 | 807       | 136       | 150,7           | 29,57                  | 0,06                   | 2,04            | 5              |
| 2        | 1º                  | 25,5   | 7,8  | 1335      | 244       | 257             | 33,66                  | 0,12                   | 2,63            | 13             |
|          | 2º                  | 19,4   | 5,53 | 1506      | 228       | 32,08           | 34,19                  | 2,47                   | 0,19            | 6              |
| 3        | 1º                  | 28,1   | 6,89 | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | 19,8   | 6,88 | 240       | 38        | 62,03           | 24,99                  | 0,14                   | 1,04            | 12             |



**TABELA A.5- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DA BACIA DO RIO INCOMATI**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1º                  | 31,2   | 8,2  | 294       | 100       | 67,5            | 4,25                   | 0,05                   | 0,26            | 20             |
|          | 2º                  | 22,7   | 7,44 | 503       | 180       | 58,5            | 2,97                   | 0,03                   | 0,12            | 1              |
| 2        | 1º                  | 29,4   | 7,25 | 552       | 132       | 92,2            | 3,5                    | 0,03                   | 0,42            | 5              |
|          | 2º                  | 22,8   | 7,5  | 570       | 152       | 92,2            | 2,96                   | 0,03                   | 0,04            | 3              |
| 3        | 1º                  | 29     | 7,13 | 382       | 102       | 44,3            | 3,99                   | 0,02                   | 0,31            | 8              |
|          | 2º                  | 21,3   | 6,97 | 437       | 78        | 92,2            | 14,31                  | 0,08                   | 0,37            | 15             |
| 4        | 1º                  | 21,1   | 8,2  | 332       | 100       | 31,9            | 5,28                   | 0,03                   | 0,38            | 6,5            |
|          | 2º                  | 22,1   | 7,59 | 337       | 122       | 81,5            | 1,8                    | 0,03                   | 0,18            | 3              |
| 5        | 1º                  | 26,02  | 6,97 | 379       | 118       | 28,4            | 4,25                   | 0,02                   | 0,25            | 9              |
|          | 2º                  | 20,4   | 6,97 | 396       | 138       | 44,3            | 2,28                   | 0,03                   | 0,59            | 3              |
| 6        | 1º                  | 28,6   | 8,43 | 484       | 142       | 63,8            | 7,26                   | 0,05                   | 0,56            | 29             |
|          | 2º                  | 23,4   | 7,5  | 643       | 220       | 81,5            | 9,07                   | 0,23                   | 0,63            | 30             |
| 7        | 1º                  | 30,6   | 7,63 | 727       | 154       | 131,7           | 4,7                    | 0,07                   | 0,86            | 25             |
|          | 2º                  | 20     | 7,63 | 797       | 198       | 152,4           | 7,9                    | 0,03                   | 0,57            | 3,5            |
| 8        | 1º                  | 29,7   | 7,45 | 567       | 126       | 99,3            | 3,46                   | 0,04                   | 0,58            | 3,5            |
|          | 2º                  | 22,6   | 7,45 | 565       | 148       | 90,4            | 3,6                    | 0,03                   | 0,04            | 8              |
| 9        | 1º                  | 30,6   | 7,56 | 1079      | 170       | 241,1           | 5,05                   | 0,16                   | 1,17            | 40             |
|          | 2º                  | 22,7   | 7,56 | 1079      | 330       | 524,6           | 5,4                    | 0,09                   | 0,4             | 40             |
| 10       | 1º                  | 26,2   | 7,52 | 186       | 60        | 14,2            | 5,28                   | 0,04                   | 0,38            | 10             |
|          | 2º                  | 21     | 7,64 | 184       | 84        | 17,7            | 3,15                   | 0,03                   | 0,11            | 4              |
| 11       | 1º                  | 25,3   | -    | 190       | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | 21,1   | 7,41 | 186       | 76        | 17,72           | 2,07                   | 0,03                   | 0,14            | 4              |

**TABELA A.6- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), ALCALINIDADE (Alc.), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO, FÓSFORO TOTAL (FT) E TURVAÇÃO BACIA DO RIO LIMPOPO**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | Alc. | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | FT (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|----------------|
| 1        | 1º                  | -      | 6,9  | 125       | 5    | 30        | 70,9            | 3                      | 0,01                   | 0,6             | -         | 30,45          |
|          | 2º                  | -      | 6,7  | 425       | 5    | 25        | 141,8           | -                      | 0,01                   | 0,03            | 0,05      | 30             |
| 2        | 1º                  | -      | 7,6  | 450       | 10   | 100       | 141,8           | -                      |                        | 0,4             | -         | 500            |
|          | 2º                  | -      | 6,79 | 420       | 6    | 38        | 212,7           | -                      | 0,01                   | 0,04            | 0,05      | 30             |
| 3        | 1º                  | -      | 7,8  | 231       | 20   | 120       | 85,08           | -                      | 0,01                   | 0,04            | -         | 400            |
|          | 2º                  | -      | 7,53 | 662       | 5    | 20        | 106,25          | -                      | 0,01                   | 0,03            | 0,05      | 100            |
| 4        | 1º                  | -      | 7,9  | 619       | 10   | 20        | 70,9            | -                      | 0,01                   | 0,04            | -         | 60,45          |
|          | 2º                  | -      | 7,29 | 842       | 5    | 48        | 141,8           | -                      | 0,01                   | 0,02            | 0,05      | 30             |
| 5        | 1º                  | -      | 7,8  |           |      | 60        | 141             | -                      | 0,01                   | 0,03            | -         | 500            |
|          | 2º                  | -      | 8,2  | 1645      | 20   | 40        | 212,7           | -                      | 0,01                   | 0,04            | 0,05      | 30             |
| 6        | 1º                  | -      | 7,6  | 520       | 10   | 50        | 177,1           | -                      | 0,01                   | 0,05            | -         | 500            |
|          | 2º                  | -      | 8,06 | 667       | 6    | 40        | 99,26           | -                      | 0,01                   | 0,04            | 0,05      | 30             |
| 7        | 1º                  | -      | 7,6  | 204       |      | 120       | 70,9            | -                      | 0,01                   | 0,04            | -         | 500,45         |
|          | 2º                  | -      | 7,6  | 638       | 10   | 36        | 141,8           | -                      | 0,01                   | 0,03            | 0,05      | 30             |
| 8        | 1º                  | -      | 6,9  | 350       | 0    | 24        | 70,9            | 3                      | 0,01                   | 0,01            | -         | 30,45          |
|          | 2º                  | -      | 7,24 | 660       | 0    | 4         | 127,62          | -                      | 0,01                   | 0,04            | 0,05      | 30             |
| 9        | 1º                  | -      | 7,6  | 632       | 10   | 40        | 106,35          | -                      | 0,01                   | 0,04            | -         | 30,45          |
|          | 2º                  | -      | 7,33 | 610       | 8    | 40        | 148,8           | -                      | 0,01                   | 0,04            | 0,05      | 30             |
| 10       | 1º                  | -      | 7,3  | 448       | 10   | 40        | 106,35          | -                      | 0,01                   | 0,04            | -         | 30,45          |
|          | 2º                  | -      | -    | -         | -    | -         | -               | -                      | -                      | -               | 0,05      | 30,45          |

**TABELA A.7- VALORES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE TEMPERATURA (T), PH, CONDUTIVIDADE (S), DUREZA TOTAL (DT), CLORETOS, NITRATOS (NO<sub>3</sub>), NITRITOS (NO<sub>2</sub>), AMONÍACO E TURVAÇÃO DO RIO INHAMBANE**

| Estações | Período (trimestre) | T (°C) | pH   | S (µS/cm) | DT (mg/L) | Cloretos (mg/L) | NO <sub>3</sub> (mg/L) | NO <sub>2</sub> (mg/L) | Amoníaco (mg/L) | Turvação (NTU) |
|----------|---------------------|--------|------|-----------|-----------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| 1        | 1º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | -      | 7,74 | 460       | 56        | 102,81          | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |
| 2        | 1º                  | -      | 7,36 | 620       | 124       | 102,81          | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |
|          | 2º                  | -      | 7,69 | 530       | 128       | 138,26          | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |
| 3        | 1º                  | -      | 7,69 | 540       | 186       | 49,63           | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |
|          | 2º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
| 4        | 1º                  | -      | -    | -         | -         | -               | -                      | -                      | -               | -              |
|          | 2º                  | -      | 7,27 | 460       | 32        | 31,39           | 0                      | 0,07                   | 1,5             | 5              |
| 5        | 1º                  | -      | 7,67 | 620       | 208       | 53,18           | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 24             |
|          | 2º                  | -      | 6,58 | 420       | 28        | 46,09           | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 14             |
| 6        | 1º                  | -      | 6,43 | 180       | 22        | 39              | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |
|          | 2º                  | -      | 8,5  | 540       | 226       | 60,27           | 10                     | 0,07                   | 1,5             | 5              |

